
ASOCIACIÓN ENTRE LAS FASES DE “EL NIÑO” Y LA PRODUCCIÓN ARROCERA DEL URUGUAY

Alvaro Roel *

Walter Baethgen **

* Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Programa Nacional de Arroz, INIA Treinta y Tres.

** Ing. Agr. Ph.D. IRI. Universidad de Columbia. EEUU.

Título: ASOCIACIÓN ENTRE LAS FASES DE “EL NIÑO” Y LA PRODUCCIÓN
ARROCERA DEL URUGUAY

Autores: **Alvaro Roel**
Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Programa Nacional de Arroz, INIA Treinta y Tres.

Walter Baethgen
Ing. Agr. Ph.D. IRI. Universidad de Columbia. EEUU.

Serie Técnica Nº 148

©2005, INIA

ISBN: 9974-38-208-4

Editado por la Unidad de Agropecuarios y Difusión del INIA
Andes 1365, Piso 12, Montevideo - Uruguay

Página Web: www.inia.org.uy

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

INDICE

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	8
MATERIALES Y MÉTODOS	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
Objetivo 1: Cuantificar la asociación entre las distintas fases del ENOS y la producción arrocerá nacional	9
Objetivo 2: Estudiar los posibles factores climáticos responsables de esta asociación en caso que la misma existiera	14
COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES	17
AGRADECIMIENTOS	18
LITERATURA CITADA	19

ASOCIACIÓN ENTRE LAS FASES DE “EL NIÑO” Y LA PRODUCCIÓN ARROCERA DEL URUGUAY

INTRODUCCIÓN

Investigaciones conducidas en los últimos 15-20 años a nivel internacional y local han demostrado que una proporción sustancial de la variabilidad climática en el Sureste de América del Sur se encuentra asociada a las fases de El Niño. Consecuentemente la productividad agrícola del Uruguay es también afectada por las fases de El Niño (Ropelewski et al 1987,1989; Pisciotano et al 1994; Baethgen et al 1997; Baethgen y Giménez, 2002).

El Niño es un fenómeno de interacción entre la atmósfera y el océano Pacífico tropical que afecta al sistema climático global. En dicha interacción la atmósfera influye sobre el océano principalmente a través de los vientos que impulsan las corrientes oceánicas superficiales, mientras que el océano influye en la atmósfera principalmente a través de la transferencia de calor de la superficie del océano.

En condiciones normales, los vientos alisios (del sureste en el hemisferio Sur y del noreste en el hemisferio Norte) que soplan sobre el Pacífico tropical, convergen sobre la región norte de Australia y sureste de Asia. La convergencia de estos vientos, que vienen cargados de humedad, en una zona donde la superficie del mar está relativamente caliente (por encima de 28°C), provoca que en esa zona se genere una intensa convección (zona de lluvias). Parte del aire que se eleva vuelve seco por la troposfera superior hacia el este, donde se produce la subsidencia (zona seca) que cierra la denominada célula de Walker (Figuras 1 y 2).

Estos vientos alisios empujan las corrientes oceánicas superficiales que fluyen hacia el oeste y provocan un afloramiento de aguas profundas cerca de las costas del este del Pacífico. Como resultado, el nivel del mar está 40-50 cm más alto en el oeste del Pacífico (norte de Australia, Indonesia) que en la costa de Ecuador y Perú. Por otro lado, la termoclina (superficie por debajo de la cual el agua del mar se considera a una temperatura constante) en el oeste del Pacífico está a unos 200 m de profundidad, mientras que en las costas de América del Sur está a unos 50 m de profundidad.

Cuando comienza una situación de El Niño los vientos alisios se debilitan, cesa el afloramiento de aguas profundas en las costas tropicales de América del Sur, y las temperaturas del agua del mar empiezan a subir en el este del Pacífico tropical por encima de la media climatológica (anomalías positivas). Al mismo tiempo comienza una advección de aguas cálidas desde el oeste hacia el este.

Como consecuencia, la zona convectiva del oeste del Pacífico empieza a trasladarse hacia el este y los vientos del oeste comienzan a extenderse hacia el Pacífico tropical central. La atmósfera y el océano continúan retroalimentándose de esta manera hasta que la célula de Walker se invierte (Figura 1b y 2b).

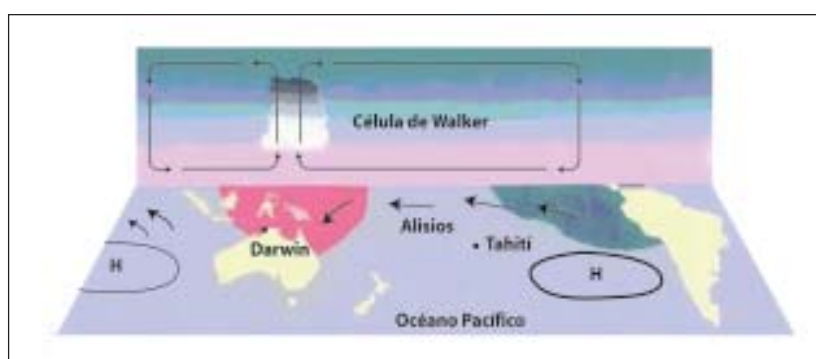
Este fenómeno es conocido entre los científicos como ENOS, denominación que corresponde a las iniciales de El Niño y la Oscilación Sur. El Niño es la parte oceánica

del fenómeno, y el término comenzó a ser utilizado entre los pescadores de Perú, ya en el siglo XIX, para referirse a un calentamiento que ocurre todos los años alrededor de Navidad en las aguas costeras de Ecuador y norte de Perú. La Oscilación Sur es la parte atmosférica del fenómeno, y representa el cambio de altas a bajas presiones que se da entre Tahití (Polinesia

Francesa) y Darwin (norte de Australia).

En la fase fría del fenómeno, conocida como "La Niña", estos procesos se revierten: aumentan los vientos alisios, se traslada la zona convectiva hacia el oeste y se enfría la superficie del mar en el centro y este del Pacífico

(a) Condiciones Normales



(b) Condiciones "El Niño"

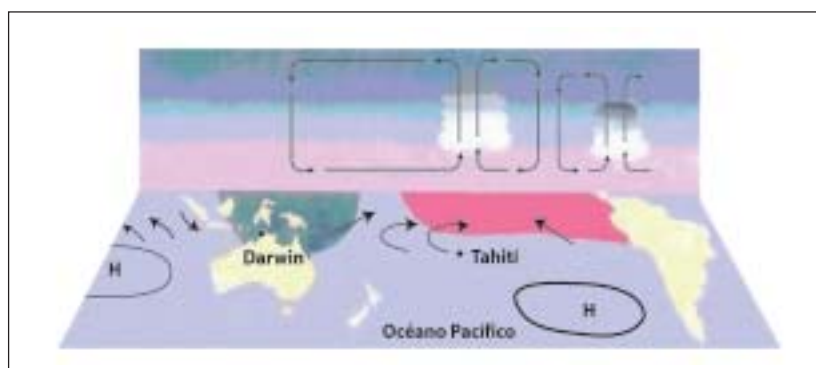
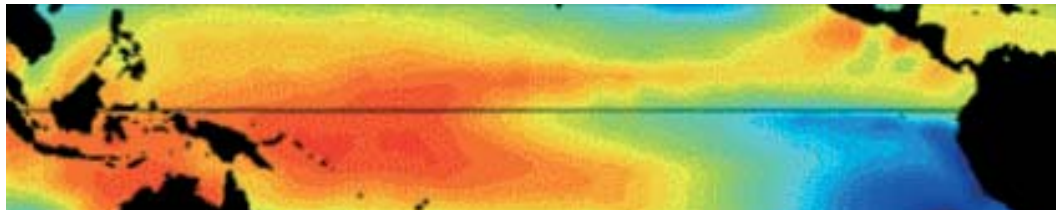


Figura 1: Condiciones oceánicas y atmosféricas en la zona del Pacífico tropical en años normales (a) y en años de El Niño (b)

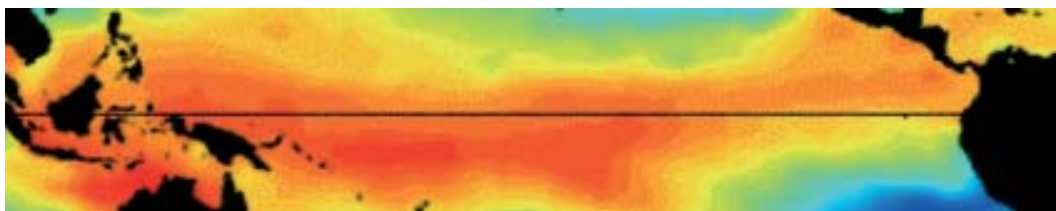
Usualmente, las lecturas de la superficie del mar en las costas occidentales de América del Sur van desde los 15 a los 20 grados centígrados, mientras que exceden los 25 grados en el "pozo cálido" localizado en el Pacífico central y occidental (Figura 2a). Este pozo cálido se expande para cubrir el trópico durante El Niño (Figura 2b),

mientras que durante la Niña (Figura 2c), los vientos alisios de occidente se fortalecen y las corrientes frías a lo largo del Ecuador y la costa occidental de Sur América se intensifican. Las temperaturas a nivel del mar a lo largo del Ecuador durante la fase Niña pueden caer tanto como 4 grados por debajo de lo normal (Figura 2c).

a) Neutral/Normal



b) El Niño



c) La Niña

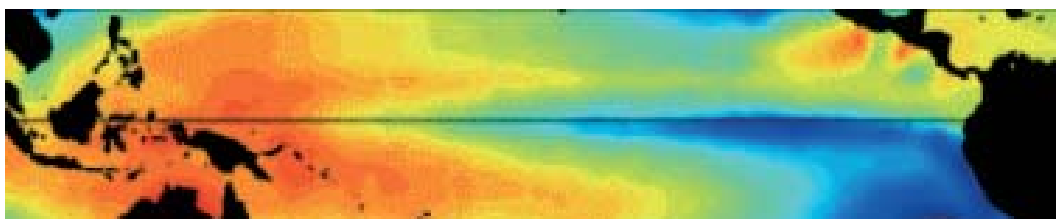


Figura 2: Temperatura en el Pacífico ecuatorial en a) años Neutrales, b) años Niño y c) años Niña. Colores rojos representan zonas del océano con temperaturas más cálidas y las zonas azules temperaturas más frías.

La mayoría de los estudios nacionales tendientes a cuantificar el efecto de las fases del ENOS (El Niño / La Niña) en la producción agrícola se han conducido en cultivos de verano sin riego (maíz), por su alta dependencia de los niveles de precipitación ocurridos en cada verano. Para nuestro país, los estudios demuestran que en los años Niño existen mayores probabilidades de obtener niveles de lluvias acumuladas por encima de los valores históricos en el trimestre octubre-noviembre-diciembre. En los años Niña sucede lo inverso. Estos trabajos han señalado importantes variaciones en los niveles productivos de los cultivos de secano

y su asociación con las fases del ENOS. Baethgen (1998) ha demostrado que en Uruguay en los años Niña la probabilidad de obtener lluvias insuficientes para los cultivos de verano sin riego aumenta, lo cual se traduce en un aumento de las probabilidades de lograr bajos rendimientos.

Si bien existe información segmentada de cómo pueden variar los niveles de producción arrocerá nacional en las diferentes fases del ENOS, nunca ha sido debidamente cuantificada la asociación entre los fenómenos del El Niño-La Niña y la variabilidad en la producción arrocerá uruguayá.

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son: 1) Cuantificar la asociación entre las distintas fases del ENOS y la producción arroceras nacional. 2) Estudiar los posibles factores climáticos responsables de esta asociación en caso que la misma existiera.

Es importante puntualizar desde el comienzo de este trabajo que lo que se estudiará será el grado de asociación entre estos dos procesos tan distantes como diversos, como son el ENOS y la variabilidad de la producción arroceras uruguayas. Como se comprenderá los posibles factores causantes de esta variabilidad son múltiples. La metodología que se aplicará en este estudio permite establecer asociaciones pero no relaciones de causalidad.

Este estudio plantea dos hipótesis de trabajo: *Hipótesis 1:* El arroz en Uruguay es producido bajo riego por lo que sería de esperar un efecto menor en la productividad asociado al ENOS en comparación con otros cultivos estivales no regados. El arroz sería por ende un cultivo más "robusto" a las oscilaciones ENOS.

Hipótesis 2: Al ser el arroz un cultivo manejado bajo riego sería de esperar un efecto inverso del ENOS en la productividad que los observados en cultivos sin riego. Es decir, en zafra clasificadas como La Niña al aumentar la probabilidad de que existan niveles más bajos de precipitación en los meses de primavera-verano, podría darse un incremento de las posibilidades de siembra en fecha y mayores niveles de radiación solar lo que determinarían una mayor frecuencia de rendimientos altos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se computaron las anomalías promedio totales en el trimestre Octubre- Noviembre-Diciembre de las temperaturas del Océano Pacífico en la zona NIÑO 3.4. Esta zona está

ubicada en el Pacífico Ecuatorial entre las Latitudes 5S-5N y Longitudes 170E-120W, y es la zona mayormente utilizada por los modelos de predicción climática. (Centro de Predicción Climática - NOAA).

Como indicador de producción se utilizaron los rendimientos promedio nacionales (Asociación de Cultivadores de Arroz, ACA) de los últimos 30 años. Para la clasificación de los años Niño (caracterizados por desviaciones positivas de temperatura de la superficie del océano Pacífico tropical) y Niña (caracterizados por desviaciones negativas de dicha temperatura) se utilizó la clasificación del IRI (International Research Institute for Climate Prediction, Universidad de Columbia).

Para la cuantificación de las variables climáticas asociadas a los eventos ENOS se utilizaron los datos de precipitaciones y horas de sol de la Estación Meteorológica de la Unidad Experimental del Paso de la Laguna de INIA Treinta y Tres.

En los últimos 30 años, los rendimientos medios de arroz han ido aumentando debido a mejoras en la tecnología de producción. Dado que el interés de este trabajo es estudiar las variaciones de los rendimientos asociados a condiciones climáticas, en primer lugar se debe eliminar el efecto de dicha mejora tecnológica. De esta manera la variabilidad en los rendimientos resultante se deberá a variaciones en las condiciones climáticas de las diferentes zafra.

Por esta razón en primer lugar se ajustó un modelo de regresión lineal simple utilizando "años" como variable independiente, y rendimientos nacionales como variable dependiente. El valor de la pendiente de esta regresión es el aumento promedio anual en los rendimientos debido a la mejora de la tecnología (mejoramiento genético, manejo, eficiencia de gestión, etc.).

Con el resultado de estas regresiones lineales se calcularon las desviaciones relativas de rendimientos (DRR) utilizando la siguiente fórmula:

$$DRR (\%) = (R_n - RP_n) * 100 / RP_n$$

R_n Rendimiento obtenido en el año n.

RP_n Rendimiento estimado por la regresión para el año n.

Un valor de DRR positivo indicaría por lo tanto un rendimiento promedio nacional por encima de los valores esperados para esa zafra, mientras que valores negativos de DRR indican lo inverso. DRR positivos serían por lo tanto indicativos de zafras con buenos niveles de productividad y DRR negativos serían indicativos de zafras con niveles de productividad por debajo de lo esperado.

Tanto los desvíos de precipitación como los de horas de sol fueron computados como porcentajes de los valores acumulados de estas variables sobre las acumulaciones históricas promedio para el periodo 1972-2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 1: Cuantificar la asociación entre las distintas fases del ENOS y la producción arrocerá nacional.

En la Figura 3 se presenta la evolución de los rendimientos nacionales de las zafras 1987/88 hasta la zafra 2002/03 (n = 16 zafras). Sobre estos datos se ajustó un modelo de regresión lineal simple, y el valor de la pendiente de dicha regresión

representa el aumento anual del rendimiento debido al avance tecnológico. Para el período 1987/88 – 2002/03, dicho valor fue de 107 kg/ha de aumento anual de rendimiento. Una vez obtenida la recta de regresión se procedió a computar los DRR para cada zafra de acuerdo a la fórmula descrita anteriormente.

En la Figura 4 se presenta la asociación entre las anomalías totales promedio en el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre de las temperaturas del Pacífico Ecuatorial en la zona 3.4 y los DRR. El cuadrante superior izquierdo (I) de esta gráfica representa la combinación de anomalías positivas de rendimiento con anomalías negativas de temperatura en el mar. El cuadrante inferior derecho (III) representa la combinación de anomalías negativas de rendimiento con anomalías positivas de temperatura en el mar. En esta figura se puede apreciar que los desvíos positivos de rendimiento (zafras con rendimientos superiores a los valores esperados) están asociados en general a desvíos negativos de temperatura en el Pacífico y viceversa, los desvíos negativos de rendimiento están en general asociados a desvíos positivos de temperatura.

Es decir que cuando existen temperaturas por debajo de lo normal en el Pacífico Ecuatorial, en la zona 3.4, condiciones usualmente preponderantes en los años La Niña, existe una tendencia a tener niveles productivos a nivel nacional por encima de los valores esperados.

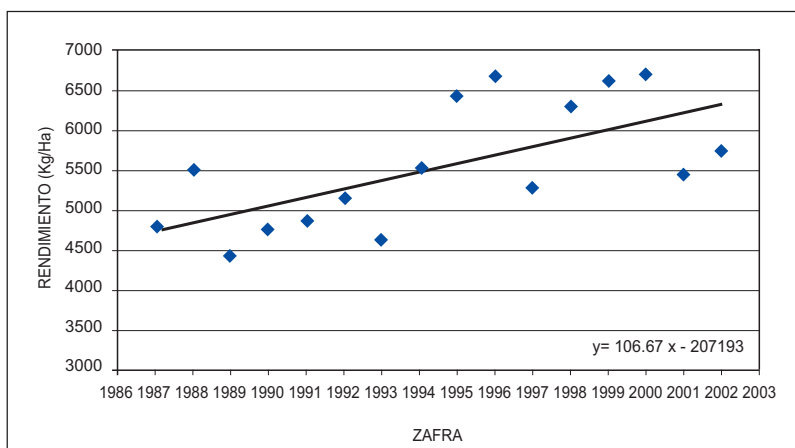


Figura 3: Rendimiento Nacional zafras 1987/88 – 2002/03.

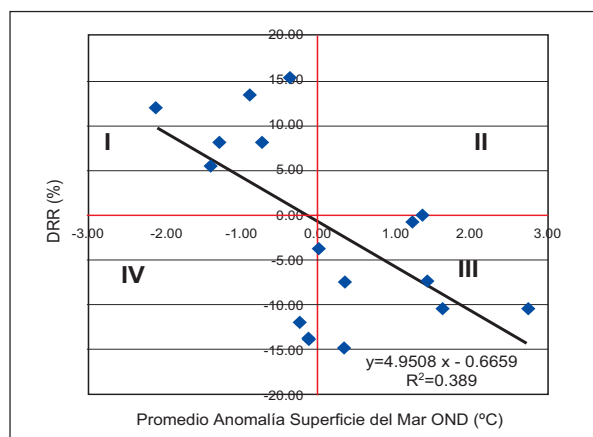


Figura 4: Desvíos de rendimiento (DRR) vs. Anomalías de temperatura del Pacífico Ecuatorial ENOS 3.4. (OND: Trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre).

Los DRR oscilaron entre +/- 15 % durante esta serie de zafras. Lo destacable en la Figura 4 es que prácticamente no existen situaciones en los cuadrantes II y IV, es decir zafras con relaciones inversas a las descritas anteriormente. En esta figura se puede apreciar también que cuando existieron pequeños desvíos en las temperaturas del Pacífico, menores a 1°C durante estos meses (condiciones neutrales), existieron desvíos de rendimientos tanto positivos como negativos. Sin embargo, es importante observar que cuando existen desvíos significativos de temperatura (mayores a 1°C), ya sean estos positivos (El Niño) o negativos (La Niña) casi siempre se asocian con DRR negativos o positivos, respectivamente.

Otra manera de cuantificar la asociación entre las fases del ENOS y la variabilidad de producción de un cultivo, es analizar si existe algún cambio en la frecuencia de anomalías de rendimiento en las diferentes fases del ENOS (Baethgen, 1997). Para esto se utilizó una serie más larga de rendimientos nacionales (31 zafras, Figura 5) en los cuales se realizó el cómputo de los DRR en forma similar al análisis anterior. Para este análisis se utilizó la clasificación de los años Niño y Niña de acuerdo al IRI. La Tabla 1 muestra para el período utilizado en este análisis los años correspondientes a las fases Niño/a y Neutrales. En las 31 zafras utilizadas en este estudio, 11 de ellas fueron clasificadas como El Niño, 11 fueron Neutras y 9 fueron clasificados como La Niña.

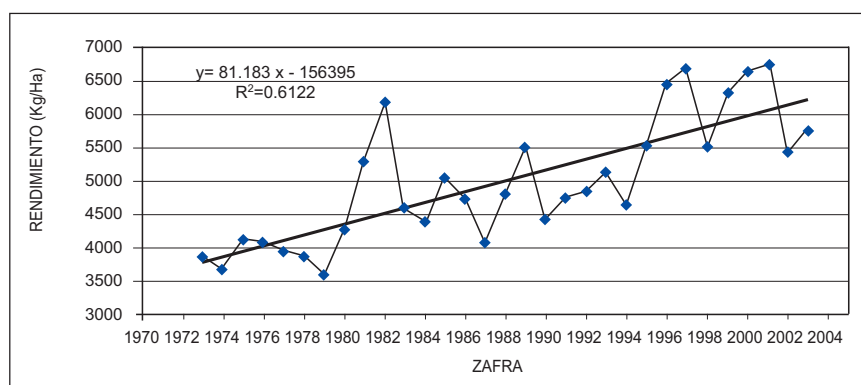


Figura 5: Rendimiento nacional zafras 1972/73 – 2002/03.

Tabla 1: Años Niño/a y Neutrales. Fuente IRI.

1973	1	1974	1	1979	1
1977	2	1975	2	1980	2
1978	3	1976	3	1981	3
1983	4	1985	4	1982	4
1987	5	1989	5	1984	5
1988	6	1996	6	1986	6
1991	7	1999	7	1990	7
1992	8	2000	8	1994	8
1993	9	2001	9	1997	9
1995	10			2002	10
1998	11			2003	11

Una vez computados los DRR de esta serie de años (1972-2003) se procedió a ordenar los mismos de mayor a menor. De esta manera se separó la distribución de DRR en cuartiles, es decir 4 grupos que contienen cada uno el 25% (la cuarta parte) de todos los valores (Figura 6). Al cuartil superior, correspondiente a los desvíos positivos de rendimiento mayores, se le denominó "Producciones Altas"; al cuartil inferior, que contiene los desvíos negativos de rendimientos, se le denominó "Producciones Bajas" y a los dos cuartiles centrales se les denominó "Producciones Medias".

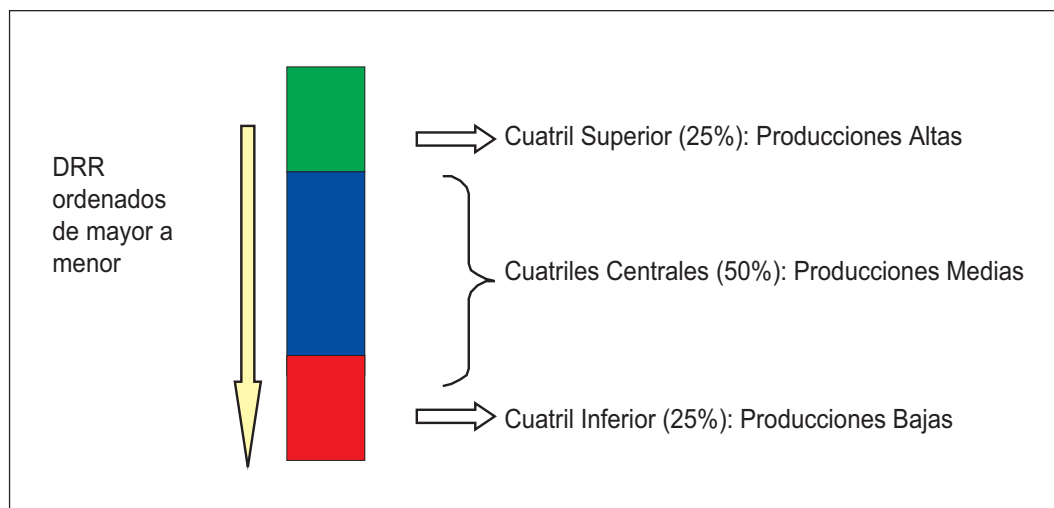


Figura 6. Clasificación de los DRR en cuartiles.

Por lo tanto, zafras con buenos niveles productivos, valores de rendimientos nacionales por encima de los esperados, serán adjudicadas a la categoría de "Producciones Altas" y zafras con niveles productivos bajos catalogadas como "Producciones Bajas".

En la figura 7 se presenta la distribución de los rendimientos nacionales en las diferentes fases del ENOS. La primera barra en la figura 7 corresponde a la distribución de los rendimientos considerando las 31 zafras.

Como se puede apreciar dado la metodología utilizada y descrita anteriormente, un 25% de los rendimientos corresponden a Producciones Altas, un 50% a Producciones Medias y el restante 25% a Producciones Bajas. Esta gráfica también se puede interpretar de la siguiente forma: un productor de arroz en Uruguay tiene 25% de chances de obtener rendimientos bajos (cuartil inferior), un 25% de chances de obtener rendimientos altos (cuartil superior) y un 50% de chances de obtener rendimientos medios (cuartiles centrales).

La Figura 7 permite apreciar que las chances cambian sustancialmente en las zafas correspondientes a las diferentes fases de ENOS. En los años caracterizados como Niño, 27% de las zafas fueron catalogadas como de Producciones Bajas y 73% como de Producciones Medias, no

registrándose ningún caso de Producciones Altas. Es decir que, en las 11 zafas clasificadas como Niño comprendidas dentro de este análisis (Tabla 1), no existió ninguna cuyo nivel productivo estuviera catalogado como Producciones Altas.

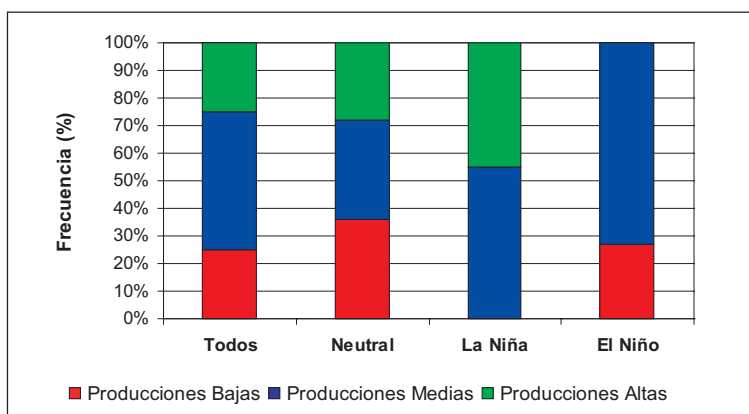


Figura 7. Distribución de los Rendimientos Nacionales en las diferentes fases del ENOS.

Lo opuesto puede observarse en los años Niña en donde un 45% de las zafas presentó rendimientos catalogados como Producciones Altas y un 55% como medios. En ningún caso se registraron rendimientos nacionales catalogados como de Producciones Bajas.

En los 11 años Neutros, es decir ni Niño ni Niña, las proporciones de niveles productivos altos, medios y bajos fueron muy similares entre sí y oscilaron en el entorno de un 30%

Los estudios realizados por Baethgen (1997) en maíz para una serie más amplia y diferente de años (1950-1999), mostraba que para el caso de este cultivo que mayoritariamente es realizado sin riego, el cambio de frecuencia era el opuesto al observado en este análisis para arroz. En los años catalogados como El Niño existía una mayor frecuencia de zafas con niveles productivos altos y en los años clasificados como La Niña una mayor frecuencia de zafas con niveles productivos bajos. De

todas maneras, el cambio de frecuencia de niveles productivos por fase de ENOS no era tan pronunciado como el detectado en el caso del Arroz, en el sentido que en el caso del Maíz no se producía la eliminación de las categorías de Producciones Bajas o Producciones Altas en las zafas clasificadas como La Niña o El Niño, respectivamente. Lo que sucedía era una disminución de estas categorías a frecuencias inferiores al 25%.

Otra manera de visualizar el cambio de la frecuencia de los desvíos de rendimientos según la fase del ENOS es a través de la conformación de "Box Plots". En la figura 8 se presenta la categorización en Box Plots de los diferentes desvíos de rendimiento de acuerdo a la categoría de ENOS. La primera barra corresponde a la distribución de los DRR de toda la serie de zafas analizadas (n=31). Como se puede apreciar si consideramos toda la serie de zafas analizadas existe una variación de rendimiento que oscila entre -17% y +38%. El 50% central de los DRR oscila entre -7 y +8% y la mediana corresponde a un DDR

de 1%. En la segunda columna se puede apreciar que en las zafas clasificadas como Neutras (n=11) la oscilación de DRR es prácticamente similar a la encontrada en el análisis de todas las zafas, indicando que los valores más extremos de DRR se encuentran en esta serie de zafas, aunque el 50% central de los DRR se encontró ubicado en un rango más amplio de variación, entre -13 y +17%.

Sin embargo cuando analizamos las zafas categorizadas como La Niña (n=9) la variación de los DRR fue mucho menor y los valores fueron superiores. Los DRR

oscilaron entre -4 y +15%, la mediana tiene un valor +8% y el 50% central presentó una oscilación mucho menor entre valores de +5 y +11%.

En el caso de las zafas categorizadas como Niño (n=11), si bien la oscilación de los DRR fue menor que cuando se consideró la totalidad de las zafas, al igual que lo ocurrido en las zafas Niña, los desvíos de rendimiento fueron en general negativos, variando entre valores de +4% y -17%, con una mediana de -5% y el 50% de las zafas osciló en valores negativos de desvíos entre 0 y -7%.

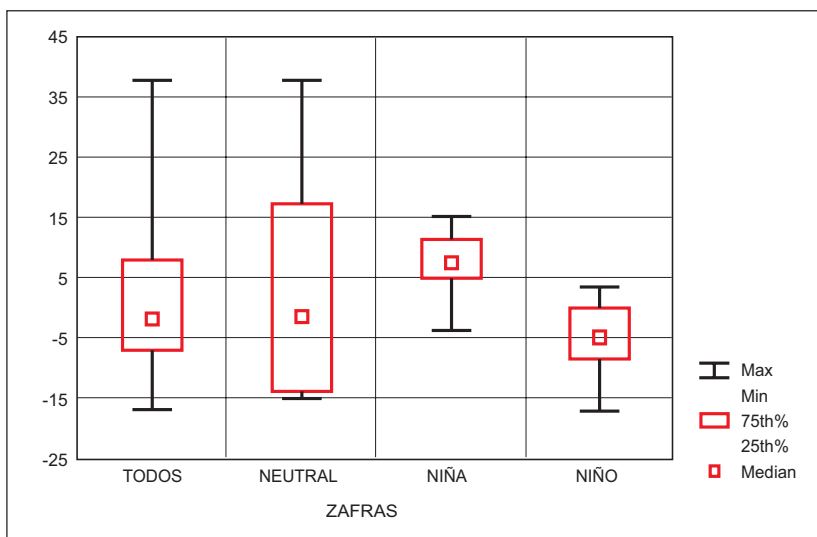


Figura 8. Distribución de DRR según fase del ENOS.

La Figura 9 presenta la relación entre los DDR y los desvíos de temperatura del Pacífico, similar al realizado en la figura 4, pero ahora con una serie de zafas ampliada 1972 – 2003 (n=31). Los rombos rojos representan las zafas correspondientes a El Niño, los azules las zafas Neutrales y los verdes corresponden a las zafas La Niña.

En la Figura 9 podemos observar, al igual que en la Figura 4, que existe una clara tendencia a que las zafas categorizadas

como La Niña (rombos verdes) se ubiquen en el cuadrante I (desvíos negativos de temperatura y desvíos positivos de rendimientos); las zafas categorizadas como Neutrales (rombos azules) a ubicarse en el centro del gráfico, con desvíos tanto positivos como negativos de rendimiento. Por último las zafas categorizadas como El Niño (rombos rojos) tienden a ubicarse en el cuadrante III (desvíos positivos de temperatura y desvíos negativos de rendimiento).

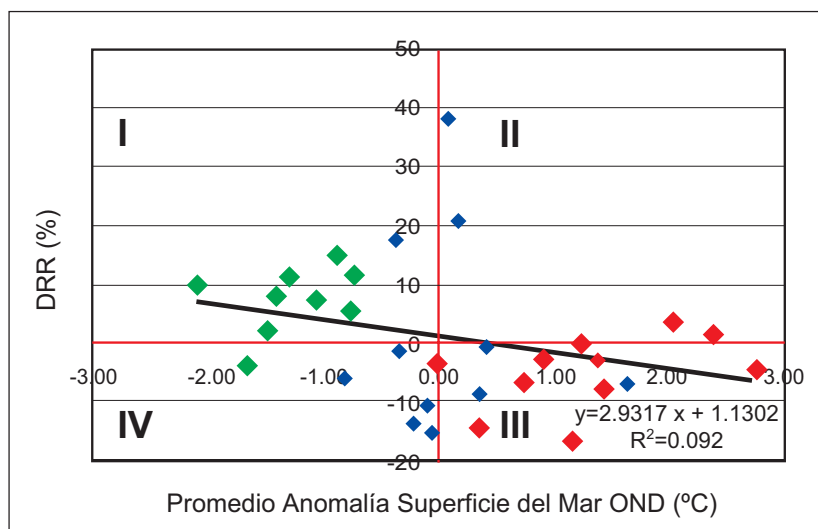


Figura 9: Desvíos de rendimiento (DDR) vs. Anomalías de temperatura del Pacífico Ecuatorial ENOS 3.4. (OND: Trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre) Zafras categorizadas como Niña rombos verdes, Neutrales rombos azules y Niño rombos rojos.

Los análisis realizados permiten visualizar que existe una asociación importante entre las fases del ENOS y los niveles de producción arrocerá uruguaya. En ambos análisis se puede apreciar que en las zafras afectadas por las condiciones de La Niña se presentan condiciones que favorecen la obtención de buenos rendimientos y lo inverso ocurre en las zafras bajo las condiciones de El Niño.

Es importante puntualizar que al observar las Figuras 4, 8 y 9 nuevamente, podemos apreciar que en las zafras categorizadas como Neutrales (sin señal del ENOS) es cuando se obtiene la mayor variabilidad en los DDR, tanto positivos como negativos. De hecho la zafra con el mayor DDR positivo está ubicada dentro de las zafras catalogadas como Neutrales y corresponde a la zafra 1981-82. Es decir, que en zafras donde no se posee una señal clara del ENOS (desvíos importantes de temperatura del Pacífico) existe una "incertidumbre" mayor en cuanto al potencial del rendimiento a obtener, pudiendo ser este muy alto, intermedio o bajo.

Por otro lado en las zafras con clara categorización ENOS existe una mayor certeza de obtención de DDR, positivos en caso de zafras La Niña y negativos en caso de zafras El Niño.

De manera de poder conocer las razones de la asociación entre las fases del ENOS y los niveles de producción nacional se analizaron el comportamiento de los niveles de precipitación y horas de sol en las zafras estudiadas, ya que el comportamiento de estas dos variables climáticas han sido definidas como preponderantes en la determinación de los niveles productivos de cada zafra (Deambrosi et al, 1997).

Objetivo 2: Estudiar los posibles factores climáticos responsables de esta asociación en caso que la misma existiera.

Lo primero a puntualizar para los siguientes análisis es que se debe tener en cuenta que lo que se está intentando cuantificar es el relacionamiento entre las anomalías de temperatura de una zona extensa del

Pacífico ecuatorial (zona 3.4) con datos obtenidos en un punto distante en el Uruguay, en este caso con datos registrados en la Estación Agrometeorológica ubicada en la Unidad Experimental del Paso de la Laguna - INIA Treinta y Tres. Esto determina al menos dos implicancias: la primera que no sería de esperar encontrar asociaciones perfectas entre ambos parámetros y la segunda es que la validez de las interpretaciones serían limitadas para la zona Este del Uruguay. Por lo tanto lo que se busca en este tipo de estudio son tendencias generales más que relaciones estrictas.

Siguiendo con el mismo procedimiento descripto anteriormente, en la Figura 10 se muestra la relación entre los desvíos de las anomalías promedio en el trimestre Octubre- Noviembre-Diciembre de las temperaturas del Pacífico en la zona 3.4 y las anomalías acumuladas de precipitación ocurridas en este mismo trimestre.

En general se puede apreciar, que a diferencia de las figuras 4 y 8, los puntos en la

gráfica tienden a concentrarse en los cuadrantes II y IV. Existe una tendencia a mayores niveles de precipitación (anomalías positivas) cuando existen anomalías positivas de temperatura en el Pacífico Ecuatorial y menores niveles de precipitación cuando las anomalías de temperatura del mar son negativas. Los niveles de precipitaciones acumulados para este trimestre presentaron una variabilidad significativa en la serie de años estudiada, entre 147% superior y un 70% inferior a los promedios históricos. Este nivel de variabilidad es característico del comportamiento de las precipitaciones en el Uruguay, las cuales poseen una alta variabilidad inter e intra-anual. Estos resultados coinciden con los estudios previamente realizados por Ropelewski et al 1987 y 1989, que encontraron mayores probabilidades de obtener niveles de precipitaciones totales en el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre por encima de los valores históricos en los años Niño y mayores probabilidades a obtener niveles de precipitaciones inferiores a los históricos en los años Niña en esta región del mundo.

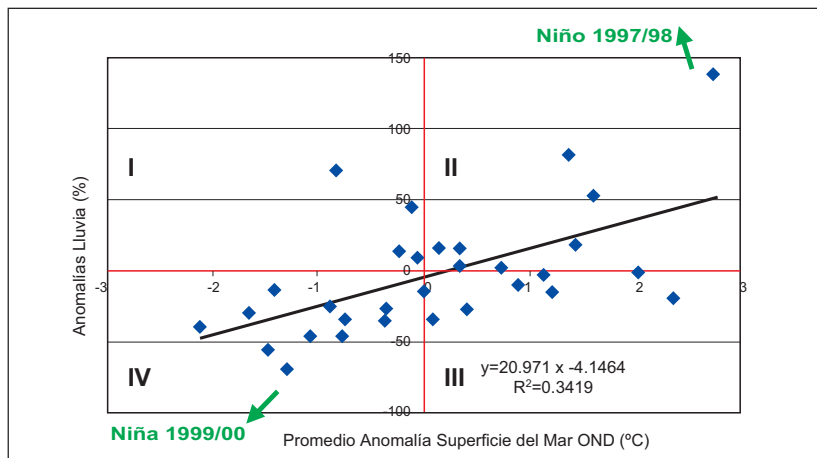


Figura 10: Anomalías de Precipitación vs. Anomalías de temperatura del Pacífico Ecuatorial ENOS 3.4. (OND: Trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre).

En la Figura 8 se puede apreciar también que los desvíos mayores de precipitaciones acumuladas ocurridas en este trimestre (Octubre-Noviembre-Diciembre) para la serie de años estudiada (1972-2003) coinciden en el caso de los desvíos negativos con la Niña de 1999/00 y en el caso de los desvíos positivos con el Niño 1997/98; dos de los eventos más significativos del ENOS en los últimos años. Las precipitaciones acumuladas de este trimestre fueron un 147% por encima de los registros promedio históricos en El Niño 1997/98 y un 70% por debajo de los promedios históricos en La Niña 1999/00.

Registros de precipitaciones superiores a lo normal en este período del año, cuando

se está realizando la siembra del cultivo, provocan atrasos en la misma que normalmente se traducen en una disminución del potencial de rendimiento alcanzable. Esto es principalmente debido a dos factores: A) Un defasaje entre los máximos potenciales de radiación solar y temperatura que ocurren hacia fines de Diciembre y principios de Enero con el ciclo de las variedades sembradas y B) Un aumento del riesgo de frío al atrasarse la fecha de siembra (Figura 11) (Deambrosi et al 1997, Blanco et al 1993). Por lo tanto este atraso en la fecha de siembra y posible disminución de rendimiento sería más frecuente en las zafras clasificadas como El Niño.

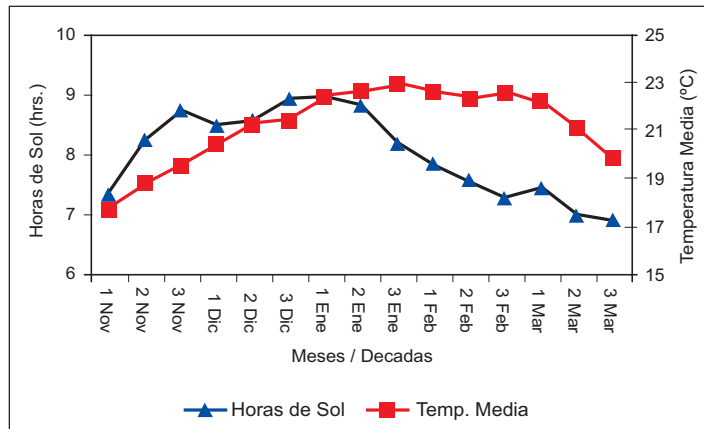


Figura 11. Evolución promedio de las temperaturas medias y horas de sol decádicas. Serie Histórica 1972-2004.

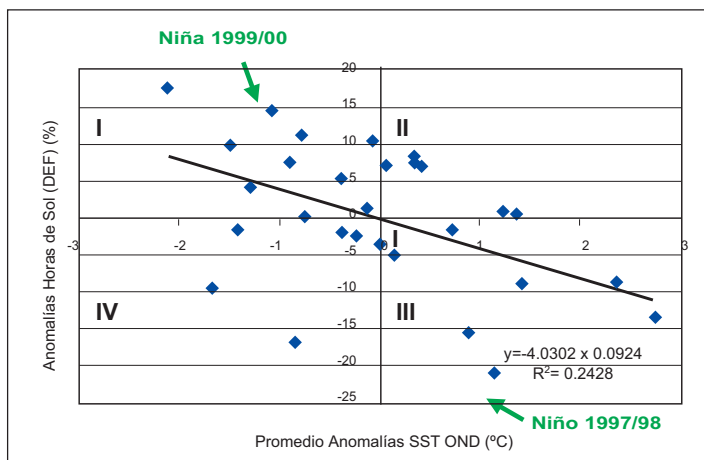


Figura 12. Anomalías de Horas de Sol (DEF: trimestre Diciembre-Enero-Febrero) Vs Anomalías de temperatura del Pacífico Ecuatorial ENSO 3.4. (OND: Trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre).

En la figura 12 se presenta la relación entre los desvíos de las anomalías promedio en el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre de las temperaturas del Pacífico en la zona 3.4 y las anomalías acumuladas de Horas de sol en los meses de Diciembre-Enero-Febrero. Durante estos tres meses es cuando ocurre mayoritariamente el crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz, el cual es influenciado por los niveles de radiación solar recibidos. Se puede apreciar que existe una relación inversa a la determinada para las precipitaciones. En esta figura se visualiza que la mayor parte de los puntos se encuentran ubicados en los cuadrantes I y III. Es decir, que existe una tendencia a mayores niveles de horas de sol (mayores niveles de radiación solar) cuando existen anomalías negativas de temperatura en el Pacífico Ecuatorial. Para el caso de un cultivo bajo riego, como el arroz, donde los problemas de déficit hídrico son minimizados o inexistentes, mayores niveles de radiación solar son normalmente traducidos en mayores niveles productivos. Esto es válido bajo condiciones de inexistencia de déficit hídricos severos; actualmente aproximadamente un 50% del área en arroz es regada de represas, lo que determinaría que bajo condiciones prolongadas de escasas precipitaciones, estas fuentes de agua podrían verse afectadas y las relaciones encontradas podrían alterarse.

Por lo tanto, en las zafas clasificadas como El Niño además del perjuicio del atraso de siembra mencionado anteriormente existe una tendencia a menores niveles de radiación, limitando esto también la obtención de altos niveles productivos.

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

Los análisis realizados permiten visualizar que existe una asociación importante entre las fases del ENOS y los niveles de producción arrocerá uruguayá. Del estudio

efectuado se concluye que el arroz en Uruguay a pesar de ser un cultivo bajo riego es afectado por las fases del ENOS (Hipótesis 1). Este estudio permitió determinar que la hipótesis planteada en ese aspecto referente a que un cultivo bajo riego sería más robusto a las oscilaciones del ENOS no sería del todo correcta. Si bien el ENOS tiene un efecto mayoritariamente en los niveles de precipitación y por lo tanto en la regulación de los déficit hídricos como lo demuestran los trabajos de Ropelewski et al 1987,1989 ; Pisciotano et al 1994 y Baethgen et al 1997, este efecto sobre los niveles de precipitación pueden tener consecuencias indirectas sobre otras variables que influyen en la obtención de buenos rendimientos de cultivos bajo riego, como pueden ser la fecha de siembra y los niveles de radiación solar, como ha sido demostrado en este trabajo.

La Hipótesis 2 de este trabajo fue validada en el sentido que el estudio permitió establecer que el arroz, al ser un cultivo manejado bajo riego, tiene una relación inversa a la de los cultivos de secano frente a las oscilaciones del ENOS. En este sentido en contraposición a lo encontrado por Baethgen para Maíz (1997), donde en las zafas clasificadas como La Niña había una mayor frecuencia de zafas catalogadas de Producciones Bajas, en el caso del cultivo de arroz, en los años Niña aumenta significativamente la frecuencia de zafas catalogadas como de Producciones Altas (y no existen zafas de Producciones Bajas). Es decir, que en general para los cultivos de secano los años Niño serían beneficiosos, mientras que para el arroz los años Niña serían los más favorables, por las razones citadas previamente.

Para la serie de 31 zafas analizadas (1972-2003) es remarcable el hecho de la anulación de las frecuencias de Producciones Altas en las zafas catalogadas como Niño y de las frecuencias de Producciones Bajas en las zafas catalogadas como La Niña. Si bien la serie de zafas estudiadas es limitada, posee un

buen número de zafras catalogadas como Niño o Niña, por lo que refleja la consistencia de estas relaciones.

Lo anterior abriría por lo tanto una posibilidad de utilizar los pronósticos climáticos, que se basan mayoritariamente en el comportamiento del ENOS, para estimar los niveles productivos de cada zafra. Sin embargo, es importante puntualizar dos aspectos. Un primer aspecto es que dada la secuencia cronológica del fenómeno ENOS, recién hacia fines de Diciembre de cada año, es posible evaluar la dimensión de la oscilación del evento, cuando la mayor parte de las decisiones de manejo de estos cultivos ya han sido tomadas. De todas maneras, existen pronósticos de ENOS capaces de predecir con bastante seguridad la temperatura del Pacífico tropical a partir de Septiembre. Cabe destacar además, que únicamente una vez cuantificadas las relaciones entre el ENOS y la productividad de los cultivos, como se ha realizado en este estudio, es que los pronósticos comienzan a ser demandados y utilizados con mayor validez e interés. Cabe resaltar también el creciente interés tanto por parte de productores como de técnicos vinculados al cultivo de arroz por pronósticos climáticos.

Un segundo aspecto a considerar es que si bien existe una muy buena relación entre las desviaciones más significativas de temperatura en el Pacífico ecuatorial (zafras Niño o Niña) con los rendimientos nacionales, como quedó demostrado en este trabajo, es muy importante tener en cuenta que en los años Neutros, que son los que ocurren con mayor frecuencia, los niveles de producción pueden ser muy variables.

En resumen este trabajo permitió establecer que las zafras de alta producción arrocerá están asociadas con niveles de precipitación menores a los normales durante los meses de Octubre- Noviembre-Diciembre y niveles

de radiación mayores a los normales en los meses de Diciembre-Enero-Febrero. Esta conjunción de factores es más frecuente que ocurra durante la fase Niña y menos probable durante la fase Niño del ENOS.

Un último aspecto a considerar, es que si bien en las zafras categorizadas como Niña existen mejores condiciones para la obtención de altos niveles productivos, como se discutió en este trabajo, la acumulación de varios meses con escasos o nulos niveles de precipitaciones, cosa más frecuente en este tipo de zafras, pueden provocar problemas de falta de disponibilidad de agua para riego. Un problema que ha sido constatado con cierta frecuencia, sobre todo en las áreas regadas de represas, más comúnmente en el Norte del país, es que parte del área sembrada, tenga que ser abandonada por falta de agua para riego. Es decir, que si bien el rendimiento de las áreas cosechadas puede ser muy bueno, el perjuicio económico causado al productor puede llegar a ser significativo, dependiendo de la dimensión del área abandonada.

AGRADECIMIENTOS

A los Ing. Agr. Gonzalo Zorrilla y Pedro Blanco por la revisión de este trabajo y sus valiosas sugerencias.

Al Instituto Internacional de Investigación en Predicción Climática (IRI) por la utilización de las bases de datos citadas en este estudio y su permanente apoyo para la realización del mismo.

El presente trabajo constituye parte de un proyecto mayor: "Towards the Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for the application of climate forecasts in Uruguayan rice production sector" financiado por el programa START (System for Analysis, Research and Training) (<http://www.start.org>)

LITERATURA CITADA

Baethgen, W.E. 1997. Relaciones entre la temperatura superficial del Pacífico tropical y los rendimientos de cultivos en Uruguay. Workshop and Conference on the 1997-98 El Niño: Impacts and Potential Applications of Climate Prediction in Southeast South America. December 1997. Montevideo, Uruguay.

Baethgen, W.E. 1998. El Niño and La Niña Impacts in Southeastern South America. Review on the causes and consequences of cold events: A la Niña Summit. Proceedings. M. Glantz (ed.) NCAR, Boulder, CO (<http://www.dir.ucar.edu/esig/lanina/>).

Baethgen, W.E. and A. Giménez. 2002. Seasonal Climate Forecasts and the Agricultural Sector of Uruguay. <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/societal/resource/exmple/Baethgen.htm>

Blanco, P., Perez de Vida, F., Roel, A. 1993. Tolerancia a fríos de los nuevos cultivares precoces INIA Yerbal e INIA Tacuarí. En: Anais XX Reuniao da Cultura de Arroz Irrigado. EMBRAPA_CPACT.

IRI. International Research Institute for Climate Prediction. Palisades, N.Y. USA. <http://iri.columbia.edu/>

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration <http://www.noaa.gov/>

Pisciottano G., Diaz A., Cazes G. y Mechoso C.R. 1994: Relationship between ENOS and Rainfall in Uruguay, Journal of Climate v.7, p. 1286-1302.

Ropelewski, C.F. and M.S. Halpert. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev. 115:1606-1626.

Ropelewski, C.F. and M.S. Halpert. 1989. Precipitation patterns associated with high index phase of Southern Oscillation. J. Climate, 2:268-284.