

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ECONOMÍA AGRARIA
XLIX REUNIÓN ANUAL

**La incidencia de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en la
producción de soja de la provincia de Santa Fe. Análisis 1973-
2017.**

Agosto de 2018

Categoría: Trabajo de investigación

Cohan, Pedro Pablo¹

pcohan@bcsf.com.ar

Jorge, Ramiro Emmanuel¹

rjorge@bcsf.com.ar

Zanini, Lautaro¹

lzanini@bcsf.com.ar

¹ Centro de Estudios y Servicios de la Bolsa de Comercio de Santa Fe.

Resumen

El presente documento explora la relación entre las diferentes fases del ciclo El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) y el rendimiento promedio por hectárea sembrada de soja en la provincia de Santa Fe. Partiendo de la hipótesis de que las fases extremas del ciclo influyen en el nivel de producción, se estudian las cifras para el período 1973/2017. El análisis se replica sub-dividiendo su territorio en tres zonas: Norte, Centro y Sur.

Los resultados evidencian una relación negativa entre los rindes de soja y las campañas correspondientes con la fase fría del ENOS (la Niña) en todas las zonas abordadas. Respecto a la fase cálida del ciclo (el Niño), la evidencia es ambigua: observándose casos con beneficios por sobre la media y campañas donde el nivel cosechado resulta similar o menor a la tendencia.

Palabras clave: Niño – Niña, rendimientos, soja, economía de Santa Fe

Abstract

This paper considers the association between the different phases of El Niño Southern Oscillation (ENSO) cycle and the average soybean yield harvested per hectare in the province of Santa Fe. Following the hypothesis that these phases are unfavorable to production, available information is studied for the period 1973/2017. The evaluation is internalized by dividing the province's territory in three zones: North, Center and South.

Obtained results signal a negative association between soybean yields and those agricultural campaigns related to La Niña (within all the three zones). On the other hand, evidence related to the association between El Niño and soybean production is rather ambiguous: certain observations were located over the average, whereas the other were similar or lower than expected.

Key words: Niño – Niña, soybean yield, Santa Fe's economy.

Eje temático: Economía de la producción, demanda y oferta de alimentos

Índice

1. Introducción	- 3 -
2. Marco teórico-conceptual.....	- 4 -
2.1. ¿Qué es el ENOS?	- 4 -
2.2. Impactos climáticos de las fases extremas del ENOS	- 4 -
2.2.1. Impacto en América Latina.....	- 4 -
2.2.2. Impacto en Argentina.....	- 5 -
2.2.3. Impacto en Santa Fe	- 5 -
2.3. Rendimiento de los cultivos durante las diferentes fases	- 5 -
3. Metodología	- 5 -
4. Impacto de los ciclos del ENOS sobre el rendimiento de la soja.....	- 8 -
4.1. Provincia	- 9 -
4.2. Zona Norte	- 11 -
4.3. Zona Centro	- 12 -
4.4. Zona Sur	- 13 -
5. Conclusiones	- 15 -
6. Bibliografía.....	- 16 -
Anexo I.	- 17 -
Anexo II.....	- 18 -

1. Introducción

Con un nivel de producción anual superior a las 50 millones de toneladas de poroto de soja, nuestro país se posiciona como uno de los principales productores y exportadores de derivados de esta oleaginosa a nivel mundial.

En las últimas décadas se manifestó un notable crecimiento en la producción primaria de este cultivo, fundamentalmente debido a dos factores. El primero consiste en la incorporación de nuevas tecnologías, en particular lo referido al denominado “paquete tecnológico”. Este agregado de innovaciones se introdujo a finales de la década de 1990 con la implementación en conjunto de la siembra directa mecanizada, el glifosato y semillas modificadas genéticamente, resistentes a este agroquímico. El segundo de ellos, y en parte determinado por el primero, se relaciona con la ampliación de la frontera productiva experimentada por este sector.

El incremento del rendimiento por hectárea, del área cultivada y de la producción total de esta oleaginosa dio lugar a una creciente extensión y diversificación de las actividades relacionadas al sector. Argentina se estableció en los últimos años como uno de los principales productores y exportadores de derivados industriales de soja, como harina, pellets y aceite. Según datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), en 2017 Argentina fue el tercer productor y el primer exportador mundial de harina y aceite de soja.

Otro aspecto que evidencia la importancia del complejo sojero para la economía argentina, es su participación en la Balanza de Pagos del país. En este sentido, según datos del INDEC², durante 2017, el 32% del total de exportaciones del país provino del sector de oleaginosas, en el cual el complejo soja abarcó el 84% y el sector de biodiesel – producido en base a aceite de soja –, el 7% (INDEC, 2018).

En el contexto regional, la provincia de Santa Fe es una de las principales productoras agropecuarias de Argentina. En efecto, del total del área sembrada con soja en la campaña 2016/17 a nivel nacional, el 16% corresponde a la provincia de Santa Fe, siendo la producción provincial el 18% del total producido en el país³.

De manera similar a lo observado a nivel nacional, cuando se analiza la evolución de la producción de esta oleaginosa en Santa Fe, se observa un crecimiento progresivo en el rendimiento por hectárea cosechada, originado principalmente por los factores mencionados anteriormente. A pesar de ello, la producción primaria de soja en la región sigue sujeta a factores climáticos, tales como las inundaciones o las sequías prolongadas, pudiéndose esperar rendimientos inferiores al promedio en años con estas características particulares.

Ello no consiste en un dato menor, dada la importancia de este cultivo para la economía provincial. De hecho, según datos del Ministerio de Agroindustria de la Nación, alrededor del 66% de la superficie cultivada en toda la provincia, se destinó al cultivo soja en la campaña 2015/16.

El presente trabajo describe las variaciones de los rendimientos promedio por hectárea sembrada de soja en la provincia de Santa Fe, y su relación con el ciclo conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), durante el periodo 1973-2017. Para tal fin, se toma como punto de partida la hipótesis de que las fases extremas del ciclo ENOS – el “Niño” y la “Niña” – tienen una relación negativa con los rendimientos por hectárea del cultivo de soja en la provincia, principalmente a partir de los efectos climáticos que estas provocan.

² INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

³ Datos extraídos de las series históricas de Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agroindustria de la Nación <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.

Dado que el territorio provincial no presenta características homogéneas en la producción agropecuaria, se divide a la provincia de Santa Fe en tres zonas – Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur –, para considerar el impacto las distintas fases del ENOS en cada una de ellas (ver página 7 para más detalle acerca de esta clasificación).

El documento incorpora aportes teóricos realizados por otros autores, y herramientas estadísticas que permiten facilitar el análisis y exposición de los datos. En todos los casos, la información utilizada es de carácter secundario, proveniente de fuentes especializadas en este campo de estudio.

2. Marco teórico-conceptual

2.1. ¿Qué es el ENOS?

El acrónimo ENOS es una denominación derivada de la componente oceánica, El Niño, y la componente atmosférica del evento, la Oscilación del Sur (Núñez & Vargas, 1998). El fenómeno denominado “El Niño” consiste en un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Océano Pacífico Ecuatorial Central y Oriental (Heinzenknecht, 2011).

A su vez, los episodios cálidos llamados El Niño y los episodios fríos o La Niña, son los extremos del ciclo conocido como ENOS (Núñez & Vargas, 1998), es decir, durante un ciclo pueden registrarse periodos en los que la temperatura del agua en el Océano Pacífico Central se eleva o disminuye, dando lugar a las diferentes fases antes mencionadas.

En síntesis, El Niño es un fenómeno asociado al incremento de las temperaturas del agua en la región de la Costa Oeste del Océano Pacífico de Sudamérica, mientras que La Niña se asocia a una baja de dichas temperaturas. Ambos tienen consecuencias variadas en todo el mundo.

Existen lapsos en los que no se registra ninguna de estas fases extremas, a los que denominaremos “neutrales”. En ellos, las condiciones que se presentan en relación a las temperaturas del agua en el Pacífico Ecuatorial Central oscilan dentro de márgenes medios.

2.2. Impactos climáticos de las fases extremas del ENOS

Algunas de las consecuencias mencionadas con anterioridad, se hacen notar en diferentes regiones de todo el mundo, así como también en América Latina, Argentina y en nuestra provincia. A continuación se describen brevemente los efectos que las fases extremas del ciclo generan sobre las distintas regiones de interés.

2.2.1. Impacto en América Latina

Los efectos de El Niño sobre América Latina son variados. El norte de México presenta bajas temperaturas y altas precipitaciones entre octubre y marzo. América Central y el norte de América del Sur muestran condiciones secas y cálidas desde fines del invierno (agosto y septiembre). En zonas de Perú, Chile, Brasil y Uruguay se registran elevadas temperaturas y precipitaciones desde fines de la primavera y comienzos del verano. Hay regiones con elevados niveles de precipitaciones (Ecuador, Perú y Chile), mientras que otras muestran altas temperaturas como los casos de Brasil, Paraguay, Norte de Chile y parte de Perú. (Núñez & Vargas, 1998).

Particularmente, el sur de Sudamérica es una de las regiones extra-tropicales más afectadas por los ciclos del ENOS, principalmente por la fuerte variabilidad en las precipitaciones asociadas a ambas fases (Hurtado, Serio, Specha, Fernández Long, & Murphy, 2005).

2.2.2. Impacto en Argentina

Durante las fases cálidas o periodos “El Niño”, se incrementan los caudales de los ríos mesopotámicos, principalmente a consecuencia de lluvias por encima de lo normal en el sur de Brasil y Paraguay.

Podestá y otros (2002) encuentran una relación entre las anomalías de las precipitaciones y las fases ENOS para el trimestre octubre/diciembre en la Región Pampeana. De esta manera, las fases cálidas están relacionadas con un aumento en las precipitaciones medias, mientras que las fases frías o Niña, evidencian precipitaciones por debajo de lo normal. Además, durante los eventos Niño, se observa un rango de variación mayor a los años Niña.

2.2.3. Impacto en Santa Fe

En la provincia de Santa Fe, las consecuencias de los diferentes ciclos del ENOS se asemejan a las observadas en la región pampeana. En efecto, los meses de octubre, noviembre y diciembre, bajo condiciones de El Niño, se relacionan con años lluviosos, tanto en la región litoral como en el sur de Santa Fe (Núñez & Vargas, 1998). Además, el aumento del caudal de los ríos mesopotámicos, mencionado anteriormente, afecta particularmente a esta provincia, dada la gran cantidad de cursos de agua que se extienden por su territorio.

Por su parte, en los años Niña, las lluvias tienden a ser inferiores a lo normal entre los meses de octubre y diciembre (Brescia, Lema , & Parellada, 1998).

2.3. Rendimiento de los cultivos durante las diferentes fases

Diferentes trabajos de investigación intentan determinar una relación entre las distintas fases del ENOS y los rendimientos de los cultivos en Argentina. Heinzenknecht (2011) muestra que los cultivos de maíz y soja durante los eventos Niño presentan rendimientos de normales a altos, mientras que en los años con condiciones de la fase fría del ENOS, los rendimientos tienden a ser de normales a bajos en la provincia de Santa Fe (Heinzenknecht, 2011: figuras 2 a 5).

Por otro lado, Podestá y otros (2002), encuentran una relación negativa en los rendimientos de la soja frente a años con eventos Niña, mientras que no se encuentra una relación clara durante fases Niño en la Región Pampeana. Además, para el caso del maíz, estos autores muestran un efecto positivo en los rendimientos durante las fases cálidas y rendimientos por debajo de lo normal durante las fases frías (Podestá y otros, 2002: 379).

Finalmente, los diferentes autores no han encontrado relaciones claras entre los rendimientos de girasol y trigo con las distintas fases del ciclo ENOS.

3. Metodología

Como se desprende de la hipótesis planteada, el presente trabajo relaciona las anomalías en los rendimientos promedio del cultivo de soja con las diferentes fases del ciclo ENOS. Para ello, en primer lugar, debe definirse la manera en que se clasifican dichas fases, dados los diferentes indicadores existentes.

Para abordar la investigación se decide utilizar de referencia el *Multivariate ENSO⁴ Index* (MEI), presentado por el *Earth System Research Laboratory* de la *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA) que considera seis variables observables relacionadas al fenómeno:

⁴ ENSO se refiere a las siglas en inglés del ENOS (El Niño - Southern Oscillation).

“These six variables are: sea-level pressure (P), zonal (U) and meridional (V) components of the surface wind, sea surface temperature (S), surface air temperature (A), and total cloudiness fraction of the sky (C).”⁵

La principal ventaja de este indicador es que considera un conjunto de variables, en lugar de tomar solamente una. Por otro lado, gracias a la periodicidad mensual del mismo, es posible tomar como referencia el trimestre octubre/diciembre, que coincide con uno de los periodos críticos del desarrollo de este cultivo en la zona de estudio. En efecto, durante estos meses se desarrolla la siembra en toda el área de estudio⁶ y determina, en parte, la disponibilidad de agua, útil en los perfiles de suelo para los meses de mayor temperatura, cuando se ubica el segundo periodo crítico (estados reproductivos). Además, como se mencionó anteriormente, Podestá y otros (2002) muestran que, durante el trimestre seleccionado, se observa la mayor relación entre las diferentes fases del ENOS y las anomalías en las precipitaciones en la Región Pampeana.

Finalmente, es necesario aclarar que el indicador MEI toma tanto valores negativos como positivos. Los valores por debajo del cero muestran la ocurrencia de la fase fría del ciclo ENOS. En cambio, cuando el indicador asume valores positivos, ello indica la ocurrencia de la fase Niño. La distancia del valor que asume el indicador respecto al cero indicaría la intensidad del fenómeno en cuestión. Para el presente trabajo, se utiliza el promedio del valor mensual de este indicador para el trimestre octubre/diciembre de cada campaña del cultivo de soja⁷. Dado que no todos los períodos se encuentran bajo condiciones de alguna de las dos fases extremas del ciclo ENOS, en el presente trabajo se establece como fase neutral cuando el valor del MEI se ubica entre -0,6 y 0,6.

En síntesis, se clasifican todos los años correspondientes a la serie de datos en las tres fases del ciclo ENOS. Aquellas campañas durante las cuales el MEI arroja valores por debajo de -0,6 durante el trimestre octubre/diciembre se clasifican bajo la fase Niña. En contraposición, las campañas en las cuales dicho trimestre arroja un valor del MEI mayor a 0,6, corresponden a años Niño. El resto de los años serán considerados como neutrales.

El presente trabajo supone el mencionado indicador – y las consecuencias climáticas que este acarrea – como determinante en los rendimientos del cultivo. No obstante, en futuras investigaciones podrían considerarse también otras variables que pueden tener efectos significativos sobre estos. En este sentido, se pueden mencionar como ejemplo, los riesgos biológicos⁸, así como también otros eventos climáticos que no respondan al indicador o época del año utilizados⁹.

En cuanto a la definición de los rendimientos del cultivo, se toman los valores anuales de superficie sembrada y de producción para los distintos departamentos de la provincia de Santa Fe, presentados en las series históricas del Ministerio de Agroindustria de la Nación. Considerando que las campañas de este cultivo en Argentina transcurren entre septiembre y julio, los datos de producción están asociados al último año de referencia de la campaña. Así, los rendimientos correspondientes a la campaña 1972/73 corresponden al dato asociado con el año 1973.

⁵ <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/index.html>, consultado en julio de 2018.

⁶ El periodo de siembra de soja de primera se ubica entre mediados de octubre y mediados de noviembre, mientras que para soja de segunda la siembra se desarrolla las primeras tres semanas de diciembre.

⁷ El promedio MEI del trimestre octubre/diciembre de 1972, corresponde a la campaña de soja 1972/73, identificada con el año 1973 en todos los gráficos que expondremos.

⁸ A modo de ejemplo, se puede mencionar la campaña 1996/97 durante la cual los rendimientos se vieron afectados por la enfermedad “cancro del tallo”.

⁹ Por caso, los bajos rendimientos de la campaña 2015/16 respondieron a los excesos extremos de lluvia y anegamientos ocurridos durante la época de cosecha y no durante el trimestre que aquí se toma de referencia.

El motivo por el cual se toma de referencia la superficie sembrada en lugar de la superficie cosechada radica en que, de esta manera, se incluye el efecto de la pérdida de área¹⁰, variable que puede ser importante en campañas con eventos climáticos extremos (tanto sequías como inundaciones). Además, es necesario aclarar que los datos corresponden a la producción total de soja en cada campaña, sin diferenciar entre soja de primera y de segunda.

Considerando las características geográficas heterogéneas de la provincia y los diferentes impactos de las fases del ciclo ENOS que puedan observarse, se decide dividir la misma en tres zonas, a fines de una mejor presentación de los resultados:

- Zona Sur: departamentos Belgrano, Caseros, Constitución, General López, Iriondo, Rosario y San Lorenzo. Según los datos analizados, esta zona representó el 51% de la superficie sembrada total con soja y el 55% de la producción total de la provincia en la campaña 2016/2017.
- Zona Centro: departamentos San Martín, San Jerónimo, Castellanos, Las Colonias, La Capital y Garay. En estos departamentos se concentró el 31% de la superficie sembrada de soja y el 29% de la producción total provincial en la campaña 2016/2017.
- Zona Norte: departamentos San Cristóbal, San Justo, San Javier, 9 de Julio, Vera y General Obligado. Esta zona es la de menor producción sojera de las tres analizadas, cubriendo el 18% de la superficie sembrada a nivel provincial y el 16% del total producido en la provincia durante el ciclo agrícola 2016/2017.

Además de examinar los rendimientos de cada campaña, se estudian las variaciones anómalas de los mismos. Dichas anomalías se determinan a partir de la distancia de las observaciones respecto a una tendencia. Para estimar las tendencias se utiliza el filtro de Hodrick & Prescott (HP), que descompone la serie observada en dos componentes: la tendencia y el ciclo.

Se opta por esta metodología y no por una de tendencia lineal dado el impacto que existe sobre el rendimiento promedio como consecuencia de las mejoras tecnológicas. Esto generaría que la tendencia lineal sobreestime los rendimientos promedios esperados para los primeros años de la serie y subestime los de años posteriores a la incorporación del paquete tecnológico. En cambio, al estimar la tendencia mediante el filtro HP, se penalizan las desviaciones de corto plazo respecto a la tendencia – desagregando su componente tendencial –, y se logra medir la volatilidad de las variables (Segura Osuna, Chavarro Miranda, & Grautoff Laverde, 2010).

Al aplicar esta metodología para la estimación de tendencias, es importante definir a priori el valor del parámetro λ , que es una medida del grado de suavidad. Este parámetro, es un ponderador que multiplica a la suma de los cuadrados de las segundas diferencias de los componentes de tendencia de la serie. Dicha suma penaliza las variaciones en la tasa de crecimiento del componente tendencial, por lo que al asignar un mayor valor a λ , mayor es la penalización de estas variaciones.

En línea con las recomendaciones en lo referido a la aplicación del filtro HP para series anuales, se considera un $\lambda = 100$.

En base a la tendencia estimada a partir de dicho filtro, se obtiene la serie de los rendimientos esperados para el total provincial y para cada una de las zonas. Posteriormente se calculan los residuos relativos, siendo estos la diferencia entre el rendimiento observado y el esperado, como porcentaje del rendimiento esperado.

Es razonable que las observaciones sean diferentes a los valores esperados de la variable en base a la tendencia calculada, sin embargo, se consideran como anomalías aquellas observaciones que presentan desviaciones pronunciadas respecto a la tendencia. A partir de

¹⁰ Se refiere a la imposibilidad de cosechar la totalidad del área sembrada.

ello, se define una banda de variación de los rendimientos dentro de la cual estos se consideran regulares.

Siguiendo el Teorema Central del Límite, al contar con una muestra mayor a treinta observaciones, se considera que las desviaciones estándar se distribuyen en forma Normal. Tomando este concepto, el área de regularidad aplica a aquellos residuos relativos que se encuentran dentro de un rango que incluye, al menos, el 50% de las probabilidades. Según la tabla de distribución de la Normal, este rango se encontraría dentro de $\pm 0,675$ desvíos estándar alrededor de la media. Por lo tanto, una vez obtenida la serie de residuos relativos, se obtiene su media, μ (la cual se aproxima a cero), y su desvío estándar, σ , y se clasifican los residuos en:

- Regulares: los valores de rendimientos relativos que se ubiquen en el conjunto $[\mu - 0,675\sigma; \mu + 0,675\sigma]$ corresponden a rendimientos esperados.
- Superiores: los rendimientos relativos que se ubiquen en $(\mu + 0,675\sigma; \infty)$ corresponden a rendimientos superiores a los esperados.
- Inferiores: aquellos rendimientos relativos que se encuentren dentro de $(-\infty; \mu - 0,675\sigma)$ corresponden a rendimientos inferiores a los esperados.

Bajo estas consideraciones, en adelante, se presenta el análisis de los datos correspondientes a la provincia de Santa Fe y a las zonas en las que se divide.

4. Impacto de los ciclos del ENOS sobre el rendimiento de la soja

Hasta aquí, se ha realizado un recorrido por diferentes investigaciones acerca del impacto del ciclo ENOS en Santa Fe, en Argentina y en América Latina. En adelante – y en línea con la estructura metodológica descripta –, se presentan y describen los resultados obtenidos a partir de relacionar las diferentes fases del ciclo ENOS con el rendimiento promedio por hectárea sembrada de soja en la provincia de Santa Fe en el período 1973-2017.

El estudio de los efectos de las fases del ENOS sobre la producción de soja comienza con la presentación de los rendimientos promedio por hectárea, clasificando las campañas en cada una de las fases del ciclo ENOS. Para esto, además de tomar el horizonte temporal del trabajo (1973-2017), se subdivide el mismo en base a la incorporación del paquete tecnológico, presentándose así, los promedios para 1973-1996 y 1997-2017.

Tabla 1. Promedio de rendimientos del cultivo de soja (kg./ha) por periodo y por fase del ENOS para cada zona y total de la provincia de Santa Fe.

	Fase	1973/1996	1997/2017	1973/2017
Zona Norte	Neutral	1.830	2.216	2.023
	Niño	1.680	2.098	1.827
	Niña	968	1.625	1.362
Zona Centro	Neutral	2.209	2.720	2.464
	Niño	2.015	2.896	2.325
	Niña	1.015	2.726	2.042
Zona Sur	Neutral	2.285	3.106	2.695
	Niño	2.150	3.252	2.539
	Niña	1.407	2.960	2.339
Provincia	Neutral	2.261	2.868	2.564
	Niño	2.124	2.980	2.426
	Niña	1.373	2.727	2.186

Fuente: elaboración propia en base a datos de Ministerio de Agroindustria de la Nación.

Como se puede observar en la Tabla 1, si se calcula el promedio de los rendimientos por hectárea sembrada para las campañas clasificadas según las fases del ciclo ENOS, pueden identificarse diferencias claras entre cada uno de ellos.

Es notable que, en general, durante los años Niña, el promedio de rendimientos es inferior que en el resto de las fases. Además, teniendo en cuenta el periodo completo, los mayores promedios se dan en los años neutrales.

Por otra parte, se evidencia un notable incremento de los promedios al comparar los periodos previo y posterior a la incorporación del paquete tecnológico (1996). Adicionalmente, la diferencia entre los rendimientos promedio de las diferentes fases se reduce entre el primer y el segundo sub período. Estas dos particularidades, evidencian los resultados positivos que el paquete tecnológico tuvo sobre la estructura productiva.

Otro elemento a considerar es la diferencia que presenta la Zona Norte respecto a las demás. En primer lugar, la amplitud entre los promedios para las diferentes fases es mayor, tanto en el periodo completo como en el lapso 1997-2017. Además, es la única de las tres zonas en donde el promedio de los años Niño se mantiene por debajo de la media de los años neutrales, al comparar los periodos previo y posterior al cambio tecnológico.

Si bien no es el alcance del presente trabajo, pueden plantearse algunas hipótesis – que podrían dar pie a futuras investigaciones – acerca de razones que justifiquen lo anteriormente mencionado. En cuanto a la diferencia entre las distintas zonas de la provincia, esto podría deberse a cuestiones geográficas y climáticas de cada una, ya que el fenómeno ENOS afecta de manera diferente según la región. En este caso, también podrían influir diferentes grados de desarrollo en infraestructura hídrica, lo que constituye un elemento relevante durante inundaciones. Finalmente, el cambio tecnológico dio pie al desarrollo de diferentes variedades de semillas modificadas genéticamente, con características particulares en cada una de ellas. Así, cada variedad de semilla responde de distinta manera ante los diversos eventos climáticos, con lo cual las variedades de mayor utilización en cada zona podrían influir sobre los resultados en cada una de las fases del ENOS.

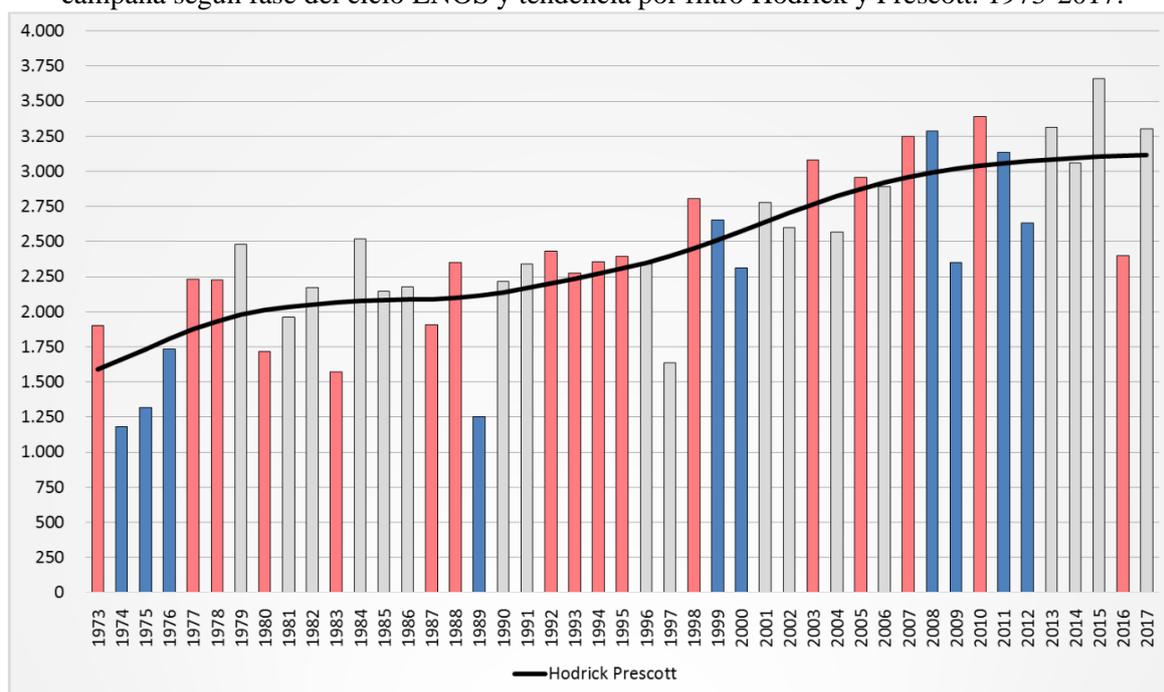
A continuación, se describe en mayor detalle, la relación entre los rendimientos y el ciclo ENOS, tanto para la provincia en su conjunto, como para las diferentes zonas por separado.

4.1. Provincia

En el Gráfico 1, se muestran los rendimientos promedio del cultivo de soja – en kilogramos por hectárea sembrada – en la provincia de Santa Fe desde 1973 hasta 2017. Es necesario aclarar que los bastones están pintados con diferentes colores, para mostrar la fase del ciclo ENOS bajo la que se desarrolló cada campaña. Además, se incluye la tendencia calculada en base al filtro HP, a fines de observar el comportamiento de los rendimientos respecto de la misma en cada año.

La gráfica deja en evidencia que en los años bajo condiciones de la fase fría del ciclo, los rendimientos se ubican, en general, por debajo de la tendencia. En efecto, sólo tres de las diez observaciones (bastones azules) se sitúan por encima de la curva HP. Estas excepciones presentan dos particularidades: son el primero de dos años consecutivos con fase fría y en los tres casos se dan con posterioridad a un año Niño. Durante el primer año Niña, el rendimiento promedio es superior a la tendencia, mientras que al año siguiente, el mismo cae sensiblemente en los tres casos.

Gráfico 1. Rendimientos promedio del cultivo de soja (kg./ha) en la provincia de Santa Fe por campaña según fase del ciclo ENOS y tendencia por filtro Hodrick y Prescott. 1973-2017.



Fuente: elaboración propia en base a datos de Ministerio de Agroindustria de la Nación.

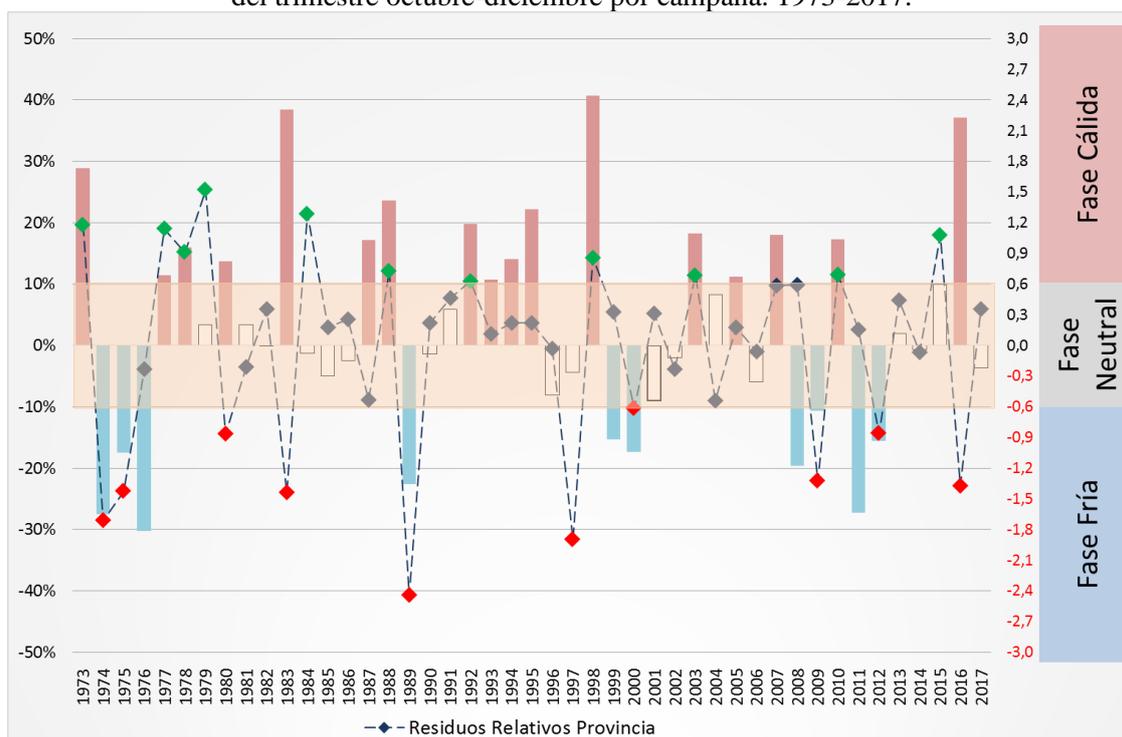
Nota: bastones rojos corresponden a años Niño; bastones azules a años Niña y grises a años neutrales.

En el Gráfico 2 se presentan los residuos relativos respecto a la tendencia de las observaciones de rendimientos de cada campaña (línea discontinua, eje izquierdo). En este caso, se toma un área central alrededor del cero (área sombreada) que indica rendimientos dentro del área de regularidad, mientras que las observaciones ubicadas por fuera de esta se consideran anomalías – sea inferiores o superiores –. Además, en el gráfico se agrega la información respecto al MEI (bastones, eje derecho) que muestran, según el color, a qué fase del ciclo se corresponde cada campaña; mientras que la amplitud de las barras indica la intensidad del fenómeno.

Pueden identificarse diez casos en los cuales los rendimientos se consideran inferiores (rombos rojos). El 60% de ellos corresponden a campañas que se desarrollaron bajo condiciones de la fase Niña, mientras que sólo el 30% corresponde a años Niño.

Por otro lado, al observar los rendimientos superiores (rombos verdes), ninguno de ellos se ubica en años bajo condiciones de la fase fría del ciclo, mientras que más del 70% se observa en campañas con condiciones Niño. Además, de todos los casos correspondientes a la fase cálida del ENOS, sólo en el 18% se detectan rendimientos inferiores, mientras que de todas las campañas que se desarrollan en la fase neutral, sólo 1 de 18 presenta rendimientos inferiores.

Gráfico 2. Residuos relativos de los rendimientos de Soja en la provincia de Santa Fe e Índice MEI del trimestre octubre-diciembre por campaña. 1973-2017.



Fuente: elaboración propia en base a datos de Ministerio de Agroindustria de la Nación y NOAA.

En base a todos los datos presentados hasta aquí, se evidencia una relación negativa entre los años desarrollados bajo condiciones Niña y los rendimientos del cultivo de soja en la provincia de Santa Fe. Es decir, cuando una campaña se desarrolla bajo condiciones de la fase fría del ciclo, la probabilidad de que los rendimientos caigan por debajo de lo que se consideraría regular es elevada.

En cuanto a la fase cálida del ciclo ENOS, se observa claramente que durante las campañas desarrolladas bajo estas condiciones la probabilidad de que los rendimientos sean bajos disminuye. Sólo se han observado rendimientos inferiores bajo condiciones del Niño en casos puntuales, que coinciden con una magnitud del fenómeno muy importante (notar amplitud de las barras verticales). Sin embargo, aunque gran cantidad de los rendimientos considerados superiores se encuentran en años desarrollados bajo esta fase, muchos de ellos se ubican casi en el límite del rango considerado regular.

4.2. Zona Norte

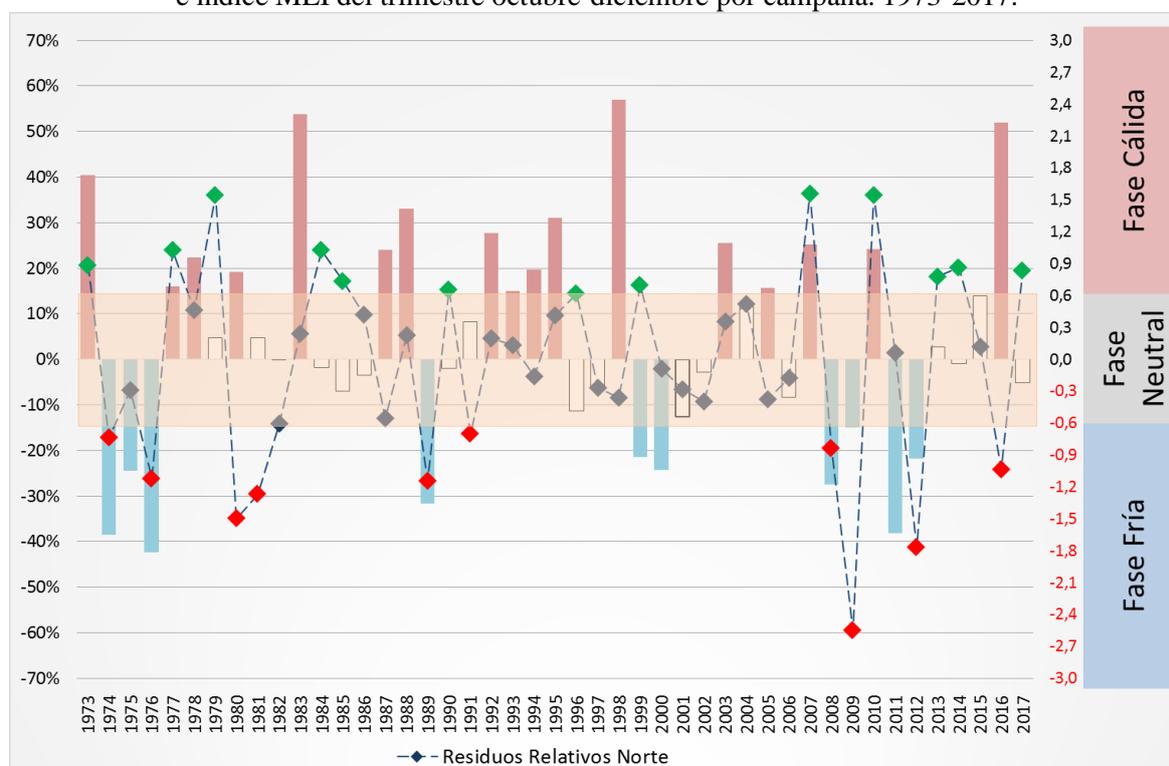
En el Gráfico 3, se observa que la Zona Norte presenta una mayor variabilidad de los residuos relativos en relación al rendimiento esperado por hectárea, denotando una mayor irregularidad de los rindes de esta zona en las diferentes fases del ciclo ENOS.

Durante los años Niño, los rendimientos de esta zona se encuentran dentro del área de regularidad en el 65% de los casos. En las campañas realizadas bajo condiciones frías, o fase Niña, el rinde por hectárea es inferior en el 60% de los casos.

Como se puede dilucidar, durante los años en los que se presenta mayor intensidad del fenómeno – tanto el Niño, como la Niña –, los rendimientos tienden a ser regulares o inferiores. Otra particularidad observable, refiere al impacto de la sucesión de dos fases Niña consecutivas; en los tres casos en los que se presenta esta situación con posterioridad a 1996, el rendimiento cae fuertemente en el segundo año. Más aún, los dos rendimientos más bajos en relación a la

tendencia se ubican en el segundo año consecutivo bajo condiciones de Niña (campañas 2008/2009 y 2011/2012).

Gráfico 3. Residuos relativos de los rendimientos de soja en la Zona Norte de la provincia de Santa Fe e índice MEI del trimestre octubre-diciembre por campaña. 1973-2017.



Fuente: elaboración propia en base a datos de Ministerio de Agroindustria de la Nación y NOAA.

Lo anteriormente mencionado, permite plantear la existencia de una relación negativa entre el rinde promedio y la ocurrencia de la fase Niña del ciclo ENOS en la Zona Norte de la provincia de Santa Fe. En las otras fases, el rendimiento varía de manera cambiante entre niveles regulares y superiores, presentándose una baja probabilidad de ocurrencia de rendimientos inferiores durante los años Niño o neutrales.

Dentro de la banda definida, el 50% de los valores observados corresponden a campañas en las que se presenta la fase cálida y 36% son años con condiciones de neutralidad. Los valores superiores, en cambio, el 61% de las veces ocurrieron en años neutrales y 31% en años Niño.

4.3. Zona Centro

Al analizar los datos correspondientes a la Zona Centro de la provincia, los rendimientos promedio observados en los años Niña están por debajo de la tendencia estimada por el filtro HP en la totalidad de los casos anteriores a 1997 y en cuatro de los seis casos posteriores a este año.

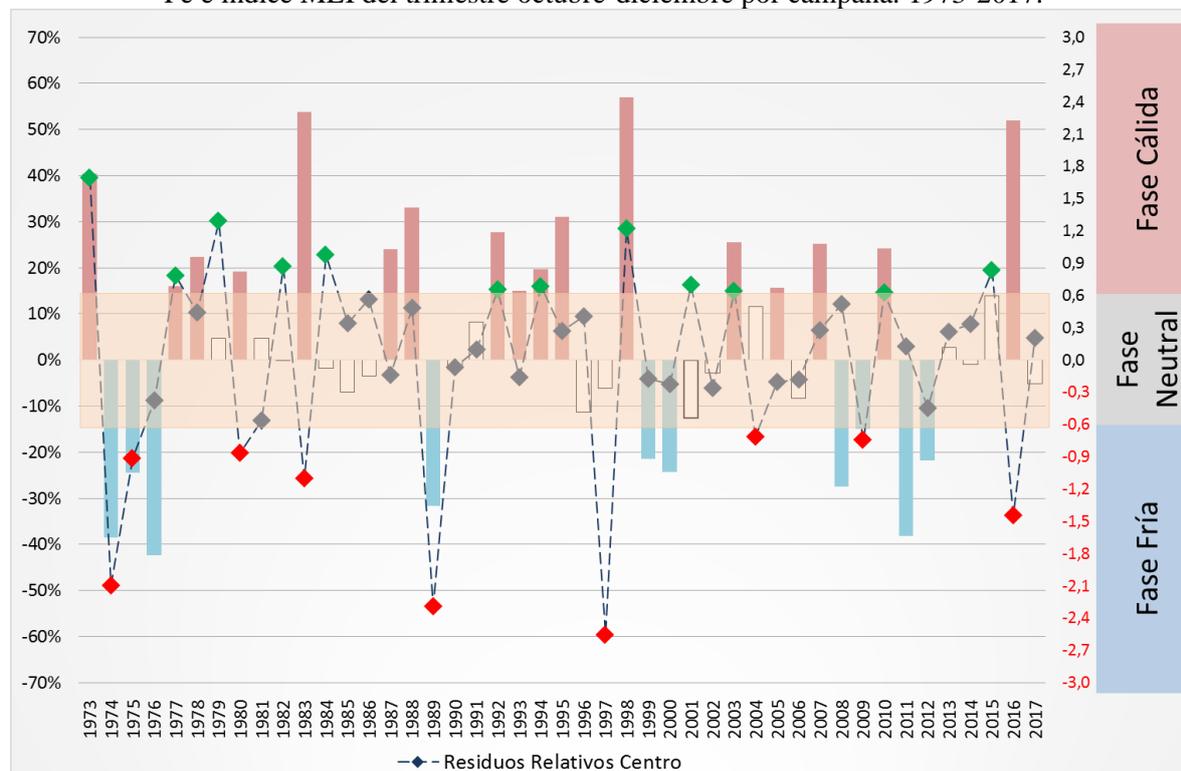
Cuando se analizan los años Niño, se puede ver que el rendimiento se encuentra por debajo de la tendencia estimada en seis de diecisiete casos posibles. Por su parte, los años neutrales muestran rendimientos inferiores a la tendencia en seis de dieciocho casos.

Retomando la Tabla 1 (página 8), la Zona Centro es la que presenta una mayor reducción de la diferencia entre los rendimientos promedios de las diferentes fases, al comparar el período previo y posterior a la incorporación del paquete tecnológico. Además, cuenta con la particularidad de que los promedios para años Niña y neutrales pasan a ser prácticamente idénticos en el período 1997-2017.

Para esta zona, al igual que en el caso de la Zona Norte, se puede afirmar que en los años en los cuales se registra el fenómeno Niña, los rendimientos tienden a ser mayores que aquellos años en los que se registra el fenómeno Niña.

Se observan anomalías superiores en el 27% de los casos, inferiores en un 20% y rendimientos regulares en el 53% restante. Sin embargo, en esta zona se registra con mayor frecuencia un rendimiento regular, cualquiera sea la fase del ciclo ENOS.

Gráfico 4. Residuos relativos de los rendimientos de soja en la Zona Centro de la provincia de Santa Fe e índice MEI del trimestre octubre-diciembre por campaña. 1973-2017.



Fuente: elaboración propia en base a datos de Ministerio de Agroindustria de la Nación y NOAA.

Durante los años con condiciones de Niña, no se verifican rendimientos superiores en ninguno de los diez años del período en los que se detecta esta fase del ciclo, mientras que en cuatro de ellos se manifiestan producciones por hectárea inferiores.

En las campañas desarrolladas bajo condiciones de la fase cálida del ciclo ENOS, se verifica que la cantidad de casos de rindes superiores y regulares son iguales, mientras que sólo el 18% de los casos califica como rendimientos inferiores.

Lo antedicho muestra que la probabilidad de obtener rendimientos superiores en años bajo condiciones de Niña es prácticamente nula; mientras que en campañas bajo condiciones Niño, esta probabilidad es alta y disminuye la probabilidad de obtener rendimientos inferiores.

4.4. Zona Sur

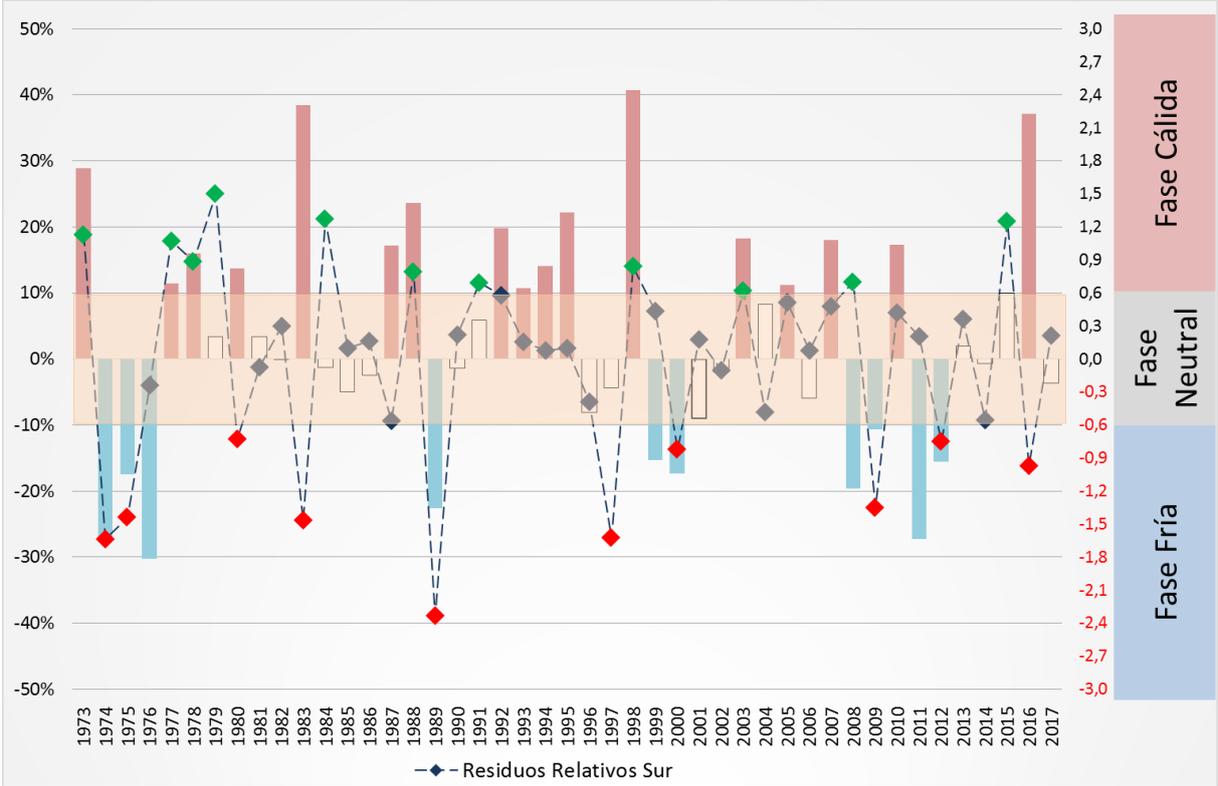
Esta zona presenta características similares a las observadas en el agregado provincial. Esto se debe al mayor peso específico de esta zona en la producción de soja de Santa Fe.

En el Gráfico 5 se puede observar que la variabilidad de los residuos son menores en la Zona Sur, en comparación con las otras. Esto se interpreta como una mayor regularidad en el rendimiento promedio frente a las diferentes fases del ciclo ENOS, lo cual podría corresponderse con un mayor nivel de tecnología aplicada en la producción, considerando que

esta zona se ubica en el área núcleo de producción agrícola del país. Aun así, se distinguen veintiuna anomalías (once años con rendimientos superiores y diez inferiores).

Seis de los rendimientos superiores se dan durante campañas en las que se manifiesta la fase Niño del ciclo, mientras que seis de los inferiores suceden durante la fase Niña. Además, es importante destacar que durante tres de los años Niño, se observan rendimientos inferiores y en dos de ellos, este fenómeno climático tuvo un alto nivel de intensidad, medido a través del índice MEI. Durante los años neutrales, en general los rindes promedio son regulares o superiores, mientras que sólo se identifica una anomalía inferior.

Gráfico 5. Residuos relativos de los rendimientos de soja en la Zona Sur de la provincia de Santa Fe e índice MEI del trimestre octubre-diciembre por campaña. 1973-2017.



Fuente: elaboración propia en base a datos de Ministerio de Agroindustria de la Nación y NOAA.

En esta zona, el 60% de las campañas bajo condiciones de Niña presentan rendimientos inferiores, mientras que en el 82% de los años Niño se evidencian rendimientos de regulares a superiores.

Es de destacar, que en los tres casos en los que se suceden dos campañas consecutivas con condiciones Niña en el segundo sub periodo, los rendimientos pasan de estar por encima de la tendencia a ubicarse por debajo del rango de regularidad.

5. Conclusiones

En el período 1973/2017, en la provincia de Santa Fe, el rinde del cultivo de soja en los años bajo condiciones de Niña, se ubican por debajo de los evidenciados en las demás fases del ciclo ENOS. Durante las campañas que presentan características de la fase Niño, la producción media se asemeja a la observada en años neutrales, por lo que el impacto de esta fase extrema sobre la producción de soja no es unidireccional.

Al estimar la tendencia del rinde promedio a nivel provincial, mediante la aplicación del filtro de Hodrick & Prescott, se aprecia que sólo el 30% de los años Niña coinciden con rendimientos superiores a la curva. Es notorio, además, que a partir de la incorporación del paquete tecnológico, durante 1996, el promedio de rendimiento por hectárea se incrementa y la variabilidad del mismo se reduce (cualquiera sea la fase del ciclo que se registre).

Bajo la clasificación de rendimientos en inferiores, regulares y superiores, la evidencia para la provincia en su conjunto indica que los rindes inferiores ocurren en un 60% de los casos durante la fase fría, y en un 30% en años bajo condiciones de Niño. En cambio, las anomalías superiores suceden 70% de las veces durante años Niño y 30% durante fases neutrales. Esto implica que la probabilidad de que se presenten rendimientos superiores durante la fase fría es realmente muy baja. Por otra parte, se puede observar que la mayoría de las anomalías registradas – tanto positivas como negativas –, ocurren durante alguna de las fases extremas del ENOS.

Por todo lo antes dicho, queda definida una relación negativa entre la fase fría del ciclo ENOS y el rendimiento promedio por hectárea sembrada de soja en la provincia de Santa Fe. En contraposición, los datos no apoyan una relación particularmente negativa entre los rendimientos del cultivo en la provincia y el fenómeno Niño (resultados ambiguos).

En relación al análisis territorial, se puede observar que en la Zona Norte existe una mayor amplitud de los rendimientos del cultivo respecto a la provincia y a las demás zonas. La relación entre la fase fría del ENOS y los rendimientos en esta zona es similar a lo evidenciado en el resto de la provincia, mientras que la relación entre el rinde y los años Niño es menos notoria.

En el caso de la Zona Centro, la principal característica que puede identificarse es la mayor regularidad de los rendimientos. En cuanto a los rendimientos durante los años bajo condiciones de Niño, estos oscilan entre superiores y regulares, con una baja probabilidad de rendimientos inferiores. Por otro lado, en años bajo condiciones Niña, la probabilidad de ocurrencia de anomalías inferiores es elevada, aunque inferior al resto de la provincia.

Finalmente, la Zona Sur expone características muy similares al conjunto provincial, con una variabilidad relativamente baja y anomalías con menor intensidad que en el resto de las zonas.

En base a la evidencia presentada, podría afirmarse que existe una relación negativa entre los rendimientos del cultivo de soja en la provincia de Santa Fe y la fase fría del ciclo ENOS o la Niña. Por otro lado, es de destacar que la probabilidad de ocurrencia de rendimientos inferiores durante campañas bajo condiciones de Niño es muy baja y se reduce a años en los que el fenómeno presenta una gran magnitud. En este sentido, no se encuentra una clara relación entre esta fase del ENOS y los rendimientos, mostrando características particulares según la zona a la que se haga referencia.

Dados los resultados obtenidos, queda en evidencia que el uso de pronósticos climáticos que anticipen este tipo de eventos extremos tiene capacidad para mejorar la toma de decisiones de siembra. En nuestra opinión también podría desarrollarse una metodología que incorpore mejoras en esta línea para las proyecciones de campaña, tanto a nivel regional como nacional.

6. Bibliografía

- Brescia, V., Lema, D., & Parellada, G. (1998). *El Fenómeno ENOS y la Agricultura Pampeana: Impactos Económicos en Trigo, Maíz, Girasol y Soja*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Cohan, M., Cohan, P. P., & Rossini, G. (2014). Margenes en la Producción de Soja Durante las Recesiones y Expansiones Económicas. XLIX Reunion Anual de la Asociación Argentina de Economía Política (AAEP).
- Heinzenknecht, G. (2011). *Impacto de "El Niño" y "La Niña" sobre los Rendimientos de los Principales Cultivos de las Provincias de la Región Pampeana*. Oficina de Riesgo Agropecuario.
- Hurtado, R., Serio, L., Specha, L., Fernández Long, M. E., & Murphy, G. (2005). Análisis de la Sensibilidad de Distintos Índices del ENSO para explicar los Rendimiento del Maíz en la Región Pampeana. *Revista Facultad de Agronomía UBA - N° 25*, 53-60.
- INDEC. (2018). *Informes Técnicos vol. 2 n° 38 - Comercio exterior vol. 2 n° 4 - Complejos exportadores 2017*. INDEC.
- Núñez, M., & Vargas, W. (1998). El Niño 1997-1998: Un Factor Económico y Social. *Boletín Informativo Techint 295*.
- Podestá, G., Letson, D., Messina, C., Royce, F., Ferreyra, A., Jones, J., . . . O'Brien, J. (2002). Use of ENSO-related climate information in agricultural decision making in Argentina: a pilot experience. *Agricultural Systems N° 74*, 371-392.
- Segura Osuna, J. A., Chavarro Miranda, F., & Grautoff Laverde, M. (2010). Ciclos económicos de las teorías de manchas solares al Filtro de Hodrick Prescott: el caso colombiano. *Criterio Libre Vol. 8 N° 13*, 21-68.

Anexo I. Rendimientos (kg./ha) en el cultivo de soja y tendencia Hodrick-Prescott para la provincia de Santa Fe y Zonas definidas, índice MEI para trimestre octubre/diciembre y fase ENOS por campaña. 1973-2017.

Año	Fase del ENOS		Provincia		Zona Sur		Zona Centro		Zona norte	
	Índice MEI Oct-Nov-Dic	Fase	Rendimientos por ha sembrada	Tendencia HP	Rendimientos por ha sembrada	Tendencia HP	Rendimientos por ha sembrada	Tendencia HP	Rendimientos por ha sembrada	Tendencia HP
1973	1,731	Niño	1.900,00	1.588,58	1.916,52	1.613,00	1.677,27	1.202,59	1.016,00	841,80
1974	-1,653	Niña	1.184,21	1.658,01	1.223,81	1.683,81	659,45	1.290,26	756,67	914,15
1975	-1,049	Niña	1.319,44	1.730,56	1.335,92	1.757,66	1.088,15	1.382,67	921,28	988,25
1976	-1,816	Niña	1.736,00	1.804,59	1.760,97	1.832,98	1.347,97	1.478,27	785,38	1.064,26
1977	0,685	Niño	2.229,89	1.874,39	2.243,68	1.903,98	1.860,36	1.572,54	1.414,71	1.141,67
1978	0,961	Niño	2.226,75	1.933,52	2.254,13	1.964,18	1.831,93	1.659,69	1.350,00	1.217,20
1979	0,204	Neutro	2.480,09	1.979,11	2.512,06	2.010,45	2.260,14	1.736,77	1.755,43	1.290,28
1980	0,819	Niño	1.720,00	2.011,25	1.794,08	2.042,60	1.437,79	1.802,58	885,90	1.361,68
1981	0,201	Neutro	1.963,30	2.034,99	2.041,38	2.065,44	1.618,14	1.861,15	1.011,71	1.436,82
1982	-0,005	Neutro	2.173,72	2.052,51	2.184,75	2.081,29	2.300,00	1.912,85	1.303,04	1.516,37
1983	2,309	Niño	1.569,06	2.065,25	1.580,01	2.092,23	1.451,27	1.955,62	1.686,54	1.596,72
1984	-0,076	Neutro	2.520,56	2.075,88	2.545,74	2.101,39	2.444,64	1.991,30	2.071,88	1.672,16
1985	-0,297	Neutro	2.142,86	2.082,08	2.141,42	2.106,76	2.178,37	2.016,64	2.035,56	1.737,86
1986	-0,147	Neutro	2.175,02	2.086,00	2.167,04	2.110,78	2.302,14	2.032,96	1.969,54	1.793,00
1987	1,031	Niño	1.905,63	2.090,40	1.919,71	2.116,25	1.976,92	2.043,19	1.602,91	1.839,71
1988	1,417	Niño	2.352,94	2.098,92	2.405,66	2.126,50	2.285,26	2.052,94	1.982,94	1.881,92
1989	-1,357	Niña	1.252,81	2.113,35	1.309,11	2.142,93	962,85	2.067,17	1.408,54	1.921,17
1990	-0,082	Neutro	2.216,49	2.138,02	2.250,53	2.169,71	2.060,39	2.093,15	2.260,23	1.960,02
1991	0,355	Neutro	2.337,09	2.168,66	2.457,00	2.202,67	2.175,15	2.127,11	1.668,89	1.995,90
1992	1,191	Niño	2.431,34	2.201,80	2.454,13	2.238,47	2.494,94	2.164,98	2.124,02	2.029,24
1993	0,641	Niño	2.277,01	2.235,61	2.335,62	2.276,29	2.122,87	2.203,13	2.120,93	2.057,19
1994	0,844	Niño	2.355,33	2.270,61	2.348,03	2.317,48	2.599,75	2.241,24	1.999,59	2.077,88
1995	1,333	Niño	2.393,45	2.307,70	2.402,62	2.363,97	2.421,76	2.278,22	2.291,87	2.090,05
1996	-0,487	Neutro	2.337,24	2.348,62	2.261,09	2.418,02	2.537,92	2.316,52	2.391,67	2.091,66
1997	-0,266	Neutro	1.637,27	2.396,00	1.809,50	2.482,25	952,91	2.360,05	1.952,60	2.082,69
1998	2,439	Niño	2.802,57	2.452,33	2.914,58	2.557,73	3.101,91	2.414,92	1.892,44	2.066,13
1999	-0,922	Niña	2.650,88	2.512,52	2.828,79	2.638,78	2.374,36	2.473,20	2.375,06	2.043,66
2000	-1,042	Niña	2.309,86	2.574,99	2.349,69	2.723,32	2.402,60	2.533,78	1.974,26	2.015,22
2001	-0,539	Neutro	2.777,44	2.639,54	2.893,70	2.811,14	3.016,31	2.594,62	1.852,71	1.984,07
2002	-0,120	Neutro	2.599,48	2.703,30	2.849,05	2.898,32	2.491,91	2.652,31	1.773,16	1.953,07
2003	1,092	Niño	3.080,30	2.764,81	3.287,81	2.981,74	3.111,05	2.707,70	2.083,14	1.923,74
2004	0,493	Neutro	2.569,41	2.821,55	2.811,58	3.057,80	2.301,37	2.760,01	2.127,51	1.895,83
2005	0,675	Niño	2.958,91	2.874,16	3.395,34	3.125,97	2.679,62	2.812,52	1.706,10	1.870,66
2006	-0,359	Neutro	2.891,80	2.920,76	3.222,79	3.183,24	2.744,88	2.863,89	1.775,77	1.851,88
2007	1,079	Niño	3.250,95	2.960,33	3.486,07	3.229,31	3.102,50	2.911,48	2.511,00	1.841,50
2008	-1,177	Niña	3.287,33	2.991,53	3.643,91	3.264,26	3.310,59	2.951,44	1.481,78	1.840,75
2009	-0,637	Niña	2.349,08	3.015,95	2.550,21	3.290,74	2.464,23	2.981,85	751,82	1.857,57
2010	1,039	Niño	3.388,04	3.038,14	3.549,71	3.315,21	3.440,35	3.004,36	2.577,93	1.896,31
2011	-1,639	Niña	3.134,55	3.055,96	3.449,49	3.336,71	3.103,46	3.015,45	1.979,52	1.950,25
2012	-0,932	Niña	2.631,00	3.070,80	2.936,55	3.356,64	2.703,25	3.015,98	1.185,19	2.019,51
2013	0,116	Neutro	3.311,61	3.084,80	3.583,68	3.377,52	3.190,11	3.007,66	2.485,89	2.104,47
2014	-0,043	Neutro	3.059,77	3.095,73	3.082,32	3.397,66	3.220,70	2.989,09	2.639,90	2.197,19
2015	0,596	Neutro	3.660,71	3.103,61	4.129,27	3.417,43	3.535,24	2.960,69	2.356,65	2.293,55
2016	2,225	Niño	2.397,64	3.108,13	2.878,31	3.434,08	1.937,79	2.925,20	1.815,93	2.393,83
2017	-0,223	Neutro	3.301,01	3.114,50	3.573,24	3.451,94	3.030,25	2.891,10	2.984,20	2.498,96

Anexo II. Mapa de zonas.

