

IMPACTO ECONÓMICO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE LA PROVINCIA DE CHACO

María Eugenia Quirolo¹; Etefvina Gesualdo²; Laura Pellerano³; José Rosello³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña, RN95 1108, Sáenz Peña, Provincia del Chaco. República Argentina.
quirola.engenia@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Agencia de Extensión Rural General Pinedo, Calle 11 entre 2 y 4, H3732, Gral. Pinedo, Provincia del Chaco. República Argentina.
gesualdo.etelvina@inta.gob.ar

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Estación Experimental Agropecuaria Colonia Benítez, Marcos Briolini 750, 3505 Colonia Benítez, Provincia del Chaco. República Argentina.
pellerano.laura@inta.gob.ar; rosello.jose@inta.gob.ar

Resumen

Recibido: 01/2023

Aceptado: 04/2023

Palabras clave

Riesgo agropecuario
Variabilidad climática
Cultivos
Rendimientos

Los eventos extremos de inundaciones y sequías, asociados con el ciclo El Niño Oscilación Sur (ENOS), son fenómenos recurrentes en la Provincia del Chaco, y causan pérdidas de cosechas y de producción. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar los riesgos de pérdidas económicas directas en la producción de algodón, soja, maíz y girasol, generadas por eventos de sequías y de excesos hídricos. Para ello, se estima un indicador de riesgo de rendimientos de cultivos, y, mediante un análisis de correspondencia, se analiza la relación de dependencia entre los rendimientos extremos y las fases El Niño y La Niña. Finalmente se calcula las pérdidas en el Valor Bruto de la Producción (VBP) y se analiza la relación entre estas y las fases del ciclo ENOS.

Los resultados muestran que el cultivo de algodón presenta mayor frecuencia de rendimientos extremos (13 de 21 campañas, 62%), pero estos son de baja "intensidad" (máximo 38%); soja y maíz tienen rendimientos extremos con menor frecuencia, 38% y 33%, respectivamente, pero de mayor alcance (69%); y en girasol, la frecuencia es aún más baja, 29%, pero el alcance es mucho más amplio; pérdidas que llegan a alcanzar al 100% de los departamentos. Las fases *La Niña* estarían asociados a rendimientos extremos altos y muy altos en algodón; a extremos altos, muy altos, y a extremos bajos en soja; y a rendimientos muy altos en maíz y girasol. Las fases *El Niño* estarían asociados a rendimientos normales en soja y maíz, y extremadamente bajos en girasol. Los años neutros estarían asociados a rendimientos extremadamente bajos y muy bajos en algodón y extremadamente bajos en maíz.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

ECONOMIC IMPACT OF CLIMATE VARIABILITY ON AGRICULTURAL PRODUCTION IN THE PROVINCE OF CHACO

María Eugenia Quirolo¹; Etelvina Gesualdo²; Laura Pellerano³; José Roselló³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña, RN95 1108, Sáenz Peña, Provincia del Chaco. República Argentina.
quirola.engenia@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Agencia de Extensión Rural General Pinedo, Calle 11 entre 2 y 4, H3732, Gral. Pinedo, Provincia del Chaco. República Argentina.
gesualdo.etelvina@inta.gob.ar

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Estación Experimental Agropecuaria Colonia Benítez, Marcos Briolini 750, 3505 Colonia Benítez, Provincia del Chaco. República Argentina.
pellerano.laura@inta.gob.ar; rosello.jose@inta.gob.ar

Abstract

KEYWORDS

Agricultural risk
Climatic variability
Crops
Yields

Extreme events of floods and droughts, associated with the El Niño Southern Oscillation (ENSO) cycle, are recurring phenomena in the Province of Chaco, and cause crop and production losses. This work has as objective to evaluate the risks of direct economic losses in the production of cotton, soybean, corn and sunflower, generated by events of drought and excess water. To do so, an indicator of crop yield risk is estimated, and through a correspondence analysis, the dependency relationship between extreme yields and the El Niño and La Niña phases is analyzed. Finally, the losses in the Gross Production Value (VBP) are calculated and the relationship between these and the phases of the ENSO cycle is analyzed.

The results show that the cotton crop presents a higher frequency of extreme yields (13 of 21 cropping years, 62%), but these are of low "intensity" (maximum 38%); soybean and corn have extreme yields with less frequency, 38% and 33%, respectively, but of greater scope (69%); and in sunflower, the frequency is even lower, 29%, but the scope is much broader; losses that reach 100% of the departments. The La Niña phases would be associated with extreme high and very high performances in cotton; to high extremes, very high extremes, and low extremes in soybeans; and very high performances in corn and sunflower. The El Niño phases would be associated with normal actions in soybean and corn, and extremely low in sunflower. Neutral years would be associated with extremely low and very low yields in cotton and extremely low yields in corn.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Chaco está ubicada en el Noreste de la Argentina, formando parte de una de las regiones productivas extra-pampeanas. Las zonas central y Sudoeste conforman núcleo de la producción agrícola del Chaco. Estas áreas, que en otros tiempos fueron predominantemente algodonera, en la actualidad concentra aproximadamente el 70% de la superficie sojera de la provincia, el 80% de las tierras dedicadas al algodón, girasol, sorgo y trigo y, aproximadamente, el 70% del área sembrada con maíz (Cuadra & Mónaca, 2016). En los últimos años la frontera agropecuaria ha avanzado sobre la zona Noroccidental. Hoy en día, estas dos regiones, Sudoeste y Nororiente concentran casi la totalidad de la producción de los cultivos pampeanos (soja maíz, girasol, trigo, sorgo), además de algodón y ganadería. No obstante, la producción se desarrolla bajo condiciones de gran variabilidad climática, con eventos de inundaciones y sequías, asociados con el ciclo El Niño Oscilación Sur (ENOS) que causan constantes pérdidas de cosechas y en ganadería a los productores de la provincia (Banco Mundial, 2013).

Los eventos ENOS se caracterizan por el calentamiento de la superficie del Océano Pacífico tropical y el debilitamiento de los vientos alisios ecuatoriales que ocurren cada pocos años. Tales condiciones van acompañadas de cambios en la circulación atmosférica y oceánica, que afectan el clima global, los ecosistemas marinos y terrestres, la pesca y las actividades humanas. La alternancia de condiciones cálidas de El Niño y frías de La Niña, conocida como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), representa la fluctuación más fuerte de un año a otro del sistema climático global (Timmermann et al., 2018).

Dada la importancia de los efectos del fenómeno ENOS sobre la producción primaria, el presente trabajo tiene por objetivo realizar una evaluación de los riesgos de pérdidas económicas directas en la producción agrícola extensiva, generadas por eventos de sequías y de excesos hídricos. Se analiza la variabilidad y tendencia de los rendimientos mediante regresiones sobre su tendencia. Se estima la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos y la frecuencia de eventos ENOS, para posteriormente, determinar mediante un análisis de correspondencia si hay dependencia entre ambos tipos de eventualidades. Finalmente, se calculan las pérdidas en el Valor Bruto de la Producción (VBP) analiza la relación entre estas y los eventos climáticos extremos, analizando que tipo de eventos son los que más impactan en la producción.

2. Área de estudio

El área de estudio abarca a la totalidad de los Departamentos de la Provincia del Chaco, agrupados por áreas agroecológicas homogéneas¹(ZAH). En la Tabla 1 se detallan los departamentos comprendidos dentro de cada ZAH, la sub-región a la que pertenecen y las actividades productivas evaluadas, y en la Figura 1 se muestra su ubicación.

¹ Clasificación realizada por la Red de Información Agropecuaria Nacional (RIAN) del INTA

Tabla 1. Zonas en estudio de evaluación de la variabilidad del valor económico de la producción primaria en la provincia del Chaco

ZAH	Sub-región	Departamentos	Actividades productivas
Centro-Oeste del Chaco	a. Agrícola del Centro	Comandante Fernández, Maipú, Quitilipi, Independencia	Algodón, Soja, Maíz, Girasol y Cría bovina
	b. Agrícola del Oeste	12 de octubre 2 de abril 9 de julio Chacabuco General Belgrano	Algodón, Soja, Maíz, Girasol y Cría bovina
	c. Mixta del Sudoeste	Fray J. S. Maria de Oro Mayor Luis J. Fontana O'Higgins San Lorenzo	Algodón, Soja, Maíz, Girasol y Cría bovina
Noroeste del Chaco	d. Agrícola Forestal del Impenetrable	Almirante Brown General Güemes	Algodón, Soja, Maíz, Girasol y Cría bovina
Mixta del Norte	e. Mixta Central Norte	Libertador Gral. San Martín	Algodón, Soja, Maíz y Cría bovina

Fuente: Elaboración propia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Análisis de la variabilidad de los rendimientos

Con los datos de producción y rendimiento de cultivo de las *Estimaciones Agrícolas* del Ministerio de Agricultura de la Nación (ahora Secretaría de Agricultura de la Nación), y siguiendo la metodología presentada por Cabrini et. al (2021), se estimaron las tendencias de los rendimientos de los cultivos de soja, algodón, maíz y girasol, considerando tres modelos mutuamente excluyentes:

$$1) \text{ Modelo sin tendencia} \quad R_{ijt} = a_{ij} + e_{ij} \quad (1)$$

$$2) \text{ Modelo con tendencia lineal} \quad R_{ijt} = a_{ij} + b_{ij}t + e_{ij} \quad (2)$$

$$3) \text{ Modelo con cambio de tendencia} \quad R_{ijt} = a_{ij} + b1_{ij}t + b2_{ij}(t - t^*) + e_{ij} \quad (3)$$

Donde:

R_{ijt} es el rendimiento del cultivo i en el período j , en la campaña t ;

i es el set de actividades agrícolas

j es el set de departamentos, agrupados por zonas agroecológicas homogéneas (ZAH);

t es el set de campañas consideradas, que van desde 2000/01 al 2020/21;

t^* es el punto de cambio de tendencia, donde $(t - t^*)_+ = t - t^*$, si $t > t^*$ y 0 caso contrario.

3.2 Estimación de las frecuencias de rendimientos y eventos climáticos extremos

Para cada departamento y cultivo se escogió el modelo de mejor ajuste a la serie de rendimientos, y con los desvíos estandarizados se construyeron indicadores de riesgo para cada cultivo. El riesgo fue medido como la proporción de departamentos provinciales con valores extremos de rendimientos en cada campaña. Se definieron cuatro categorías de riesgo, de acuerdo a la magnitud de los desvíos estandarizados, de la siguiente manera:

- Extremadamente alto >2
- Muy alto >1.5 y <2
- Muy bajo <-1.5 y >-2
- Extremadamente bajo <-2

Por otra parte, como indicador del ciclo ENOS se utilizó el *Índice Niño Oceánico*² (ONI, por sus siglas en inglés), el estándar de facto que se utiliza para clasificar los eventos de El Niño (cálido) y La Niña (frío) en el Pacífico tropical oriental. Este es elaborado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA) y se calcula como la media de 3 meses de la anomalía de la temperatura superficial del mar para la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W):

- El Niño, si $ONI > 0,5^\circ$
- Neutro, si $-4,99^\circ < ONI < 4,99^\circ$
- La Niña, si $ONI < -5^\circ$

2.3. Análisis de correspondencia

Establecidas las frecuencias de rendimientos y eventos ENOS se realizó un Análisis de Correspondencia (AC) entre dichas variables. El Análisis de Correspondencia (Benzécri, 1977) es una técnica estadística exploratoria que se utiliza para representar gráficamente las relaciones de dependencia e independencia de un conjunto de variables categóricas a partir de los datos de una tabla de contingencia. La existencia o no de algún tipo de relación entre las variables X e Y se analiza mediante contrastes de hipótesis sobre la independencia de dichas variables, generalmente el estadístico χ^2 de Pearson.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(N_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (4)$$

Donde: $E_{ij} = N * \frac{N_{i*}}{N} * \frac{N_{*j}}{N}$ es la cantidad esperada de casos. A mayor discrepancia entre la cantidad esperada E_{ij} y la cantidad observada N_{ij} de casos, mayor es el valor del indicador χ^2 , y más información se tiene de que las dos variables están relacionadas.

3.4 Estimación las pérdidas en el Valor Bruto de la Producción (VBP) por eventos climáticos extremos

Para estimar las pérdidas en el VBP se utilizó una versión parcial de la metodología de FAO (2017) diseñada para evaluar pérdidas directas que se producen en el sector agropecuario como resultado de los desastres. Esta metodología tiene en cuenta tanto el *daño* como las *pérdidas* acumuladas. El

² https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

daño se define como el costo de sustitución y/o de reparación, total o parcial, de activos físicos y existencias destruidos por el desastre. La pérdida se refiere a los cambios en los flujos económicos que surgen directamente del desastre y se acumulan dentro del ciclo agrícola que coincide con el desastre (esto incluye disminuciones en la producción de cultivos, ganado, pesca, acuicultura y silvicultura). En este trabajo se estimaron únicamente las pérdidas en el VBP, sin considerarse los daños.

El Valor de la producción perdida (excluidos los productos almacenados) se calculó como la diferencia entre el VBP esperado y el VBP real para todas las actividades productivas.

Para las actividades agrícolas se utilizó la fórmula:

$$\text{Pérdida VBP} = (p_{i,t} - p_{i,t-1}) * \Delta y_{i,t} * ha_{i,t} \quad (5)$$

Donde:

i es el set de las actividades

$p_{i,t}$ es el precio realizado en el mes de cosecha de cada campaña

$p_{i,t-1}$ es el precio al momento de la siembra del cultivo, utilizado como proxy de precio esperado.

$\Delta y_{i,t}$ es la diferencia entre el rendimiento tendencial y el rendimiento real, obtenido en cada período

$ha_{i,t}$ es la superficie total, medida en hectáreas, implantada con cada cultivo.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de la variabilidad de los rendimientos

En los Cuadros 1 a 4 se exponen los resultados de las regresiones de los rendimientos de los cultivos sobre su tendencia para las distintas ZAH. En cultivo de algodón, el Modelo 1 “sin tendencia” resultó estadísticamente significativo en el 25% de los Departamentos (4/16), mientras que el Modelo 3 “con cambio de tendencia” lo fue los Departamentos restantes, 75% (12/16 Departamentos). La tendencia de los rendimientos pasó de 1,3 kg/ha.año⁻¹, en promedio, a 138,2 kg/ha. año⁻¹. Los cambios de tendencia se produjeron entre las campañas 2010/11 y 2012/13 en la Zona Mixta del Sudoeste; entre 2013/14 y 2014/15 en las Zonas Agrícola del Oeste y en el Impenetrable; y en la campaña 2014/15 en la Zona Agrícola del Centro. En cultivo de maíz, el Modelo 2 de rendimientos “con tendencia” resultó estadísticamente significativo en el 100% de los Departamentos. La tendencia promedió los 175 kg/ha.año⁻¹ entre todas las zonas, salvo la Mixta del Norte, que presentó una tendencia promedio de 72 kg/ha.año⁻¹. En soja y girasol, en cambio resultó significativo el Modelo 1 de rendimientos “sin tendencia” en todos los Departamentos analizados. El rendimiento promedio osciló entre 1,780 y 2,126 kg/ha.año⁻¹, dependiendo de la zona; y el rendimiento medio de Girasol se ubicó en 1.567 kg/ha.año⁻¹

Cuadro 1. Algodón. Resultados de los modelos de regresión de los rendimientos

	Agrícola Central	Agrícola Oeste	Impenetrable	Mixta Norte	Mixta Sudoeste
Cantidad de Departamentos	4	5	2	1	4
Modelo sin tendencia					
25%	0	2	0	1	1
Modelo con tendencia					
0%	0	0	0	0	0
Modelo con cambio de tendencia					
75%	4	3	2	0	3
Rendimiento base promedio (kg/ha año ⁻¹)	1.342	1.247	1.348	1.076	1.265
Tendencia Promedio (kg/ha año ⁻¹)	-	-	-	-	-
Tendencia Promedio 1er período	- 9,4	7,6	2,4	-	4,5
Tendencia Promedio 2do período	182,9	101,6	183,4	-	85,1
Año de cambio de tendencia	2014/15	2012/13 - 2014/15	2012/13 - 2014/15		2010/11 - 2011/12 - 2012/13
Rendimiento promedio estimado 2022/23 (kg/ha año ⁻¹)	2.589	1.872	3.024	1.076	1.868

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2. Soja. Resultados de los modelos de regresión de los rendimientos

	Agrícola Central	Agrícola Oeste	Impenetrable	Mixta Norte	Mixta Sudoeste
Cantidad de Departamentos	4	5	2	1	4
Modelo sin tendencia					
100%	4	5	2	1	2
Modelo con tendencia					
0%	0	0	0	0	2
Modelo con cambio de tendencia					
0%	0	0	0	0	0
Rendimiento base promedio (kg/ha año ⁻¹)	1.793	2.084	1.937	1.780	1.722
Tendencia promedio (kg/ha año ⁻¹)	-	-	-	-	35
Rendimiento promedio estimado 2023 (kg/ha año ⁻¹)	1.793	2.084	1.937	1.780	2.126

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Maíz. Resultados de los modelos de regresión de los rendimientos

	Agrícola Central	Agrícola Oeste	Impenetrable	Mixta Norte	Mixta Sudoeste
Cantidad de Departamentos	4	5	2	1	4
Modelo sin tendencia	0	0	0	0	0
Modelo con tendencia	4	5	2	1	4
100%	4	5	2	1	4
Modelo con cambio de tendencia	0	0	0	0	0
Rendimiento base promedio (kg/ha año ⁻¹)	1.931	1.853	1.739	2.508	1.768
Tendencia Promedio (kg/ha año ⁻¹)	145,7	199	173,1	72	182
Rendimiento promedio estimado 2023	5.283	6.430	5.722	4.171	5.952

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Girasol. Resultados de los modelos de regresión de los rendimientos

	Agrícola Central	Agrícola Oeste	Impenetrable	Mixta Norte	Mixta Sudoeste	
Cantidad de Departamentos	4	4	1	0	4	
● Modelo sin tendencia	100%	4	4	1	0	4
● Modelo con tendencia		0	0	0	0	0
● Modelo con cambio de tendencia		0	0	0	0	0
Rendimiento base promedio (kg/ha año ⁻¹)	1.524	1.627	1.624	-	1.491	
Rendimiento promedio estimado 2023 (kg/ha año ⁻¹)	1.524	1.627	1.624		1491	

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de los valores extremos de rendimientos

Los residuos de las regresiones de los rendimientos se usaron para construir indicadores de riesgo para cada cultivo. El cultivo de algodón, como se puede ver en la Figura 1, presenta mayor frecuencia de rendimientos extremos (13 de 21 campañas, 62%), pero estos son de baja “intensidad” (máximo 38%). Soja y maíz (Figuras 2 y 3) tienen rendimientos extremos con menor frecuencia, 38% y 33%, respectivamente, pero de mayor alcance (69%). En girasol (Figura 4), la frecuencia es aún más baja, 29%, pero el alcance es mucho más amplio; pérdidas que llegan a alcanzar al 100% de los departamentos.

Figura 1. Algodón. Proporción de departamentos con rendimientos extremos

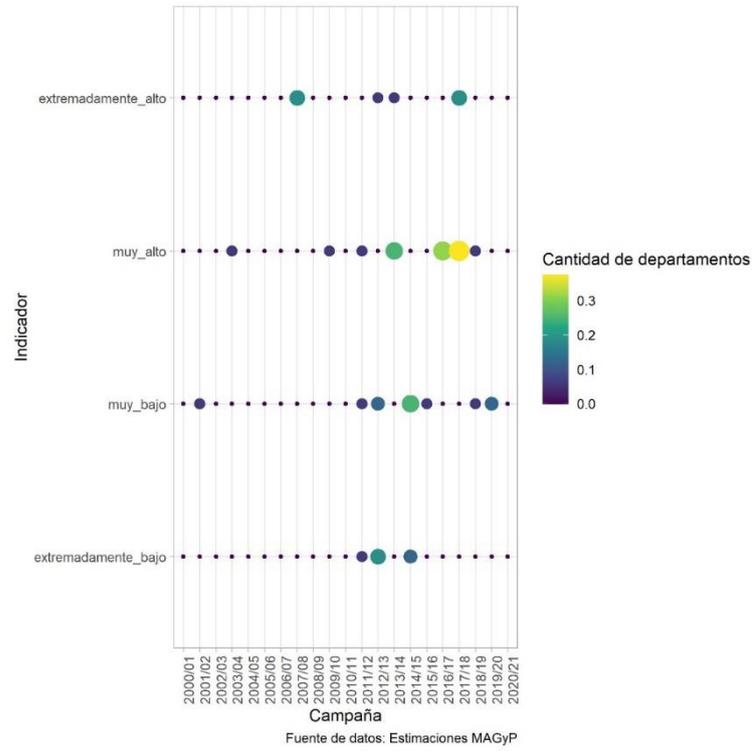


Figura 2. Soja. Proporción de departamentos con rendimientos extremos

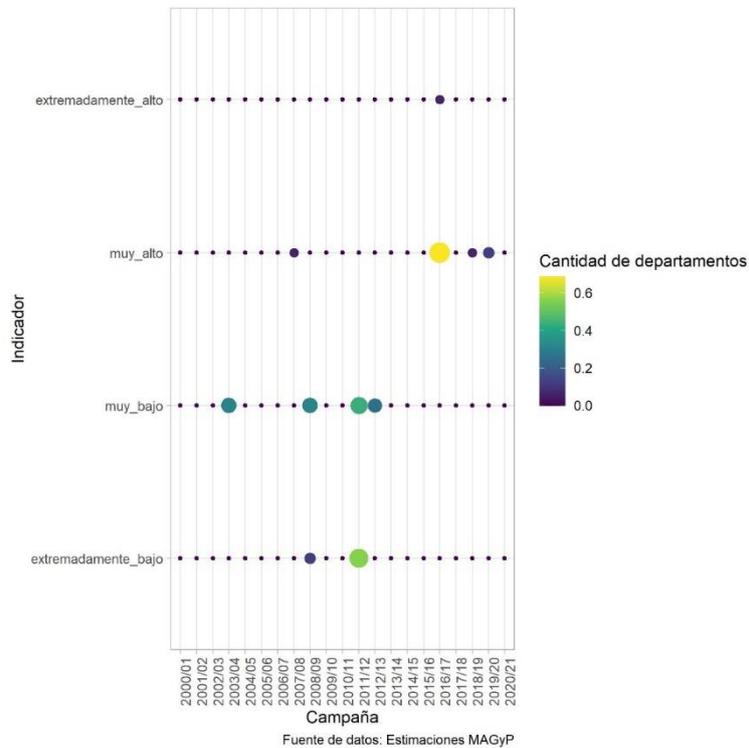


Figura 3. Maíz. Proporción de departamentos con rendimientos extremos

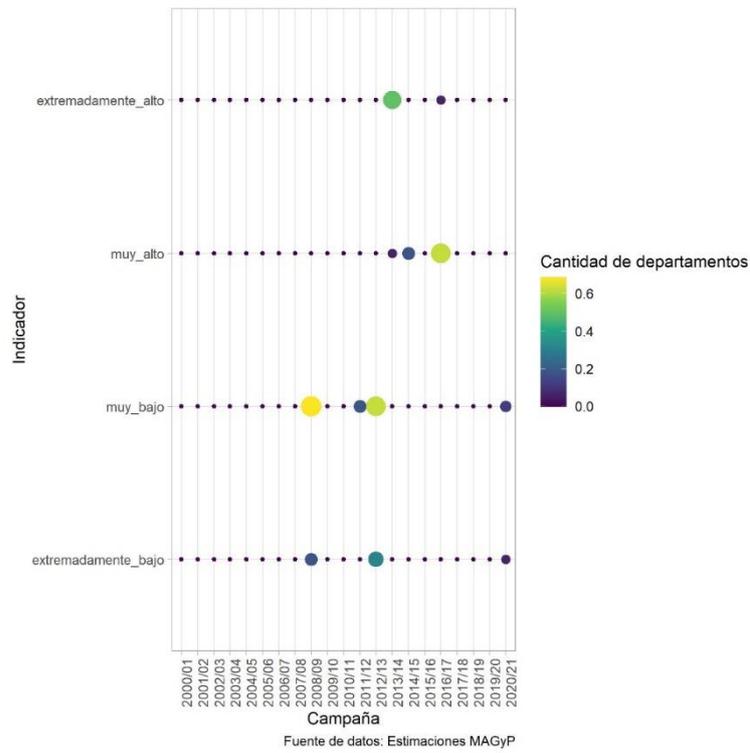
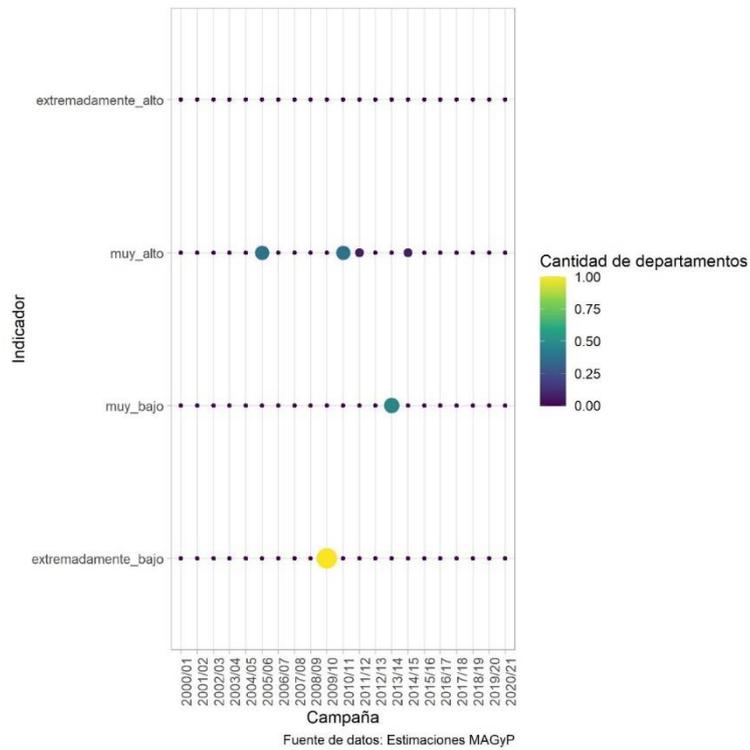


Figura 4. Girasol. Proporción de departamentos con rendimientos extremos



4.3 Relación entre los rendimientos extremos y el ciclo ENOS. Análisis de correspondencia

La Tabla 2 muestra la proporción de rendimientos extremos de todos los cultivos, por campaña, en co-ocurrencia con los eventos ENOS. Si bien la hipótesis de independencia entre ambas variables debe ser probada estadísticamente, la información presentada en esta tabla sirve para sacar algunas conjeturas *a priori*, que se confrontarán luego con los resultados del análisis de correspondencias:

- Algodón es el cultivo que presenta mayor frecuencia de años con rendimientos extremos en co-ocurrencia con fases del ciclo ENOS, aunque no surge un patrón claro de asociación entre El Niño y/o La Niña, y los rendimientos extremos altos y/o bajos.
- Algodón y girasol se ven afectados tanto por eventos *El Niño* como *La Niña*, mientras que soja y maíz se ven más afectados por eventos *La Niña*.
- Los eventos *La Niña* podrían estar asociados a rendimientos extremos bajos en soja y maíz y a rendimientos extremos altos en girasol y algodón; aunque en la campaña *La Niña*, 2016/17, también ocurrieron rendimientos extremos altos en soja y maíz.
- Los eventos *El Niño* podrían estar asociados a extremos bajos en algodón y girasol (en este cultivo se destaca particularmente la campaña 2008/09, en la que el 100% de los departamentos tuvieron rendimientos extremadamente bajos), y con rendimientos *normales* de soja y maíz.

Al realizarse la prueba de hipótesis de independencia entre “Rendimientos” y “ENOS”, los estadísticos χ^2 obtenidos permiten rechazar la hipótesis nula con una alta significancia estadística (p-valores cercanos a cero). Nótese en el Cuadro 5, que el valor del estadístico χ^2 es de mayor magnitud en soja, maíz y girasol, lo que indicaría que en esos cultivos hay una mayor discrepancia entre la proporción esperada (hipótesis de independencia es verdadera) y la proporción observada de casos co-ocurrentes; brindando más información de que las dos variables están relacionadas. Asimismo, la misma hipótesis nula fue testeada bajo la prueba exacta de Fisher, arribando a los mismos resultados.

Cuadro 5. Test Chi cuadrado y Prueba Exacta de Fisher

H_0 : independencia entre las variables 'Rendimientos' y 'ENOS'				
	Algodón	Soja	Maíz	Girasol
<i>Chi cuadrado de Pearson</i>				
χ^2	18,60	43,44	50,73	50,77
gl	8	8	8	6
p-valor	0.01714	0,000727	0,0000000296	0,00000330
<i>Test exacto de Fisher</i>				
p-valor	0.004236	0,000001	0,000001	0,000001

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 6 se resume la información sobre los valores propios y las contribuciones a la *inercia* de cada una de las dimensiones estimadas. En todos los cultivos, las dos primeras dimensiones explican el 100% de las dependencias entre las variables; en promedio, la primera dimensión explicó el 77% de la inercia, y la segunda, del 23% restante. En cuanto a los valores propios (vp), el cultivo de girasol fue el que tuvo el vp más elevado, superior a 0,18; seguido por maíz, 0,15; y soja, 0,135. El vp de algodón

resultó ser el más bajo entre todos, con un valor cercano a 0,05. De acuerdo a Benzécri (1977), un vp muy elevado (por ejemplo, de 0,8) muestra una dicotomía en los datos, indicando que hay observaciones que pertenecen a la misma sub-categorías. Cuando los vp son bastante más bajos, como sucede en este caso, hay una dispersión débil de los perfiles (fila y/o columna) de cada variable. Sin embargo, dice Benzécri, el análisis no es menos significativo por esto: las diferencias de formas pueden ser reales e interpretables; pero son de poca amplitud.

Tabla 2. Co-ocurrencia ente rendimientos extremos y eventos climáticos ENOS

Campaña	ENOS	Rendimientos Algodón				Rendimientos Soja				Rendimientos Maíz				Rendimientos Girasol		
		Ext. alto	Muy alto	Muy bajo	Ext. bajo	Ext. Alto	Muy alto	Muy bajo	Ext. Bajo	Ext. Alto	Muy alto	Muy bajo	Ext. Bajo	Muy alto	Muy bajo	Ext. Bajo
2000/01	La Niña (D)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2001/02	Neutro	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2002/03	El Niño (M)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2003/04	Neutro	0%	6%	0%	0%	0%	0%	31%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2004/05	El Niño (D)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2005/06	La Niña (D)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	38%	0%	0%
2006/07	El Niño (D)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2007/08	La Niña (D)	19%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2008/09	La Niña (D)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	31%	13%	0%	0%	69%	19%	0%	0%	100%
2009/10	El Niño (M)	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2010/11	La Niña (F)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	38%	0%	0%
2011/12	La Niña (M)	0%	6%	6%	6%	0%	0%	44%	56%	0%	0%	19%	0%	8%	0%	0%
2012/13	Neutro	6%	0%	13%	19%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	63%	31%	0%	0%	0%
2013/14	Neutro	6%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	6%	0%	0%	0%	46%	0%
2014/15	El Niño (D)	0%	0%	25%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	0%	8%	0%	0%
2015/16	El Niño (MF)	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2016/17	La Niña (D)	0%	31%	0%	0%	6%	69%	0%	0%	6%	63%	0%	0%	0%	0%	0%
2017/18	La Niña (D)	19%	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2018/19	El Niño (D)	0%	6%	6%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2019/20	Neutro	0%	0%	13%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2020/21	La Niña (M)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	6%	0%	0%	0%

Nota: las letras entre paréntesis indican la intensidad de la fase ENOS: D (débil); M (moderado); F (Fuerte); MF (Muy fuerte).

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Inercias principales (eigenvalores)

Dimensión	Algodón		Soja		Maíz		Girasol	
	Valores propios	%						
1	0.043528	78.6	0.112211	82.7	0.113584	75.2	0.131291	71.9
2	0.011836	21.4	0.023524	17.3	0.037395	24.8	0.051326	28.1
Total	0.055364	100.0	0.135735	100.0	0.150978	100.0	0.182617	100.0

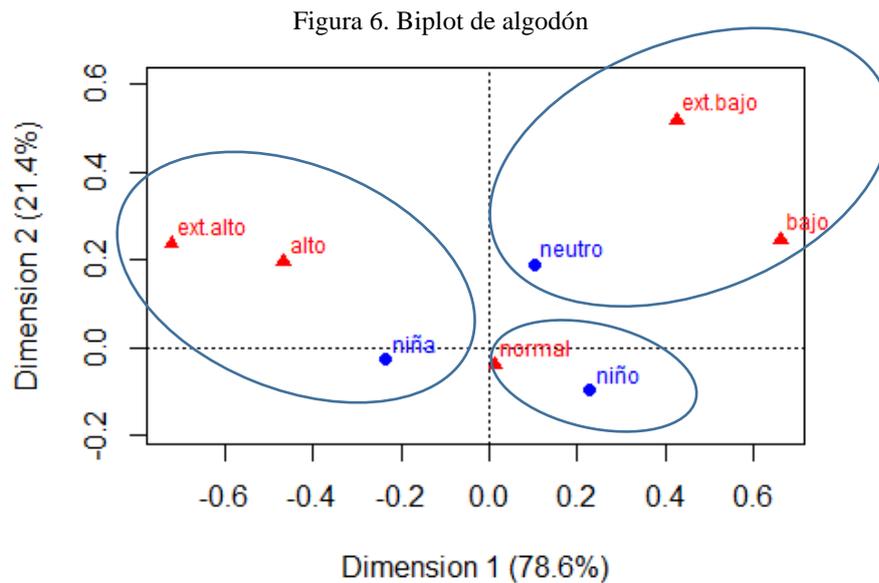
Nota: valores expresados en tanto por mil

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los biplot (Figuras 6 a 9) muestra que las fases La Niña estarían asociados a rendimientos extremos altos y muy altos en algodón; a extremos altos, muy altos, y a extremos bajos en soja; y a rendimientos muy altos en maíz y girasol.

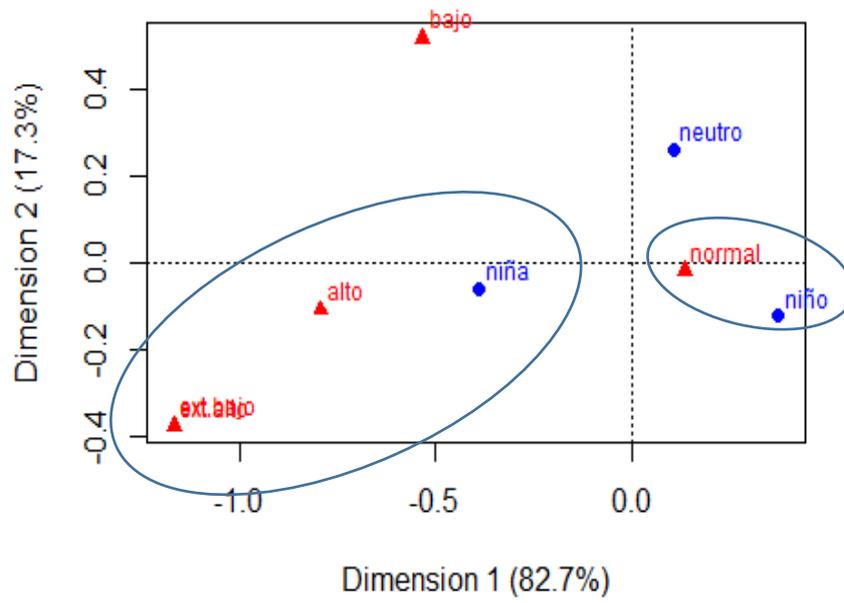
Las fases El Niño estarían asociados a rendimientos normales en soja y maíz, y extremadamente bajos en girasol.

Los años Neutros estarían asociados a rendimientos extremadamente bajos y muy bajos en algodón y extremadamente bajos en maíz.



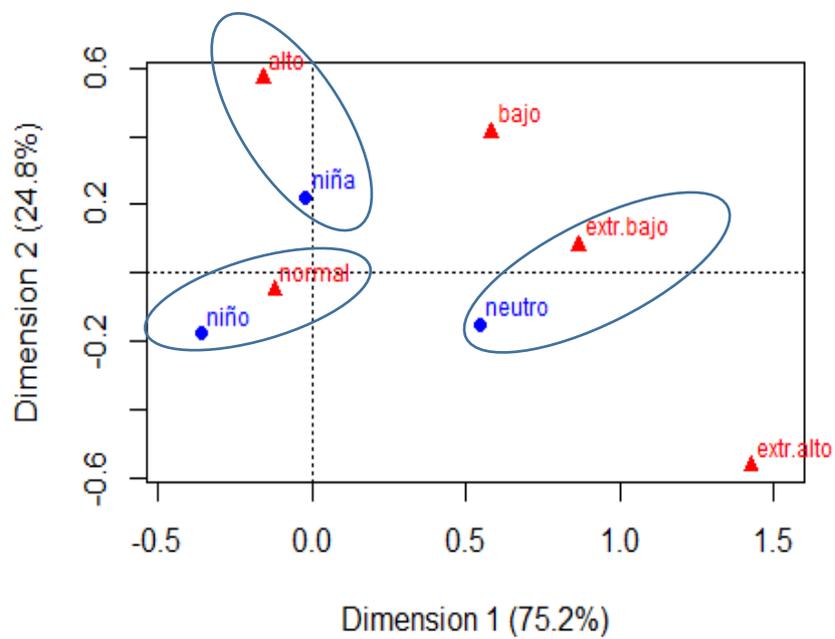
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Biplot de Soja



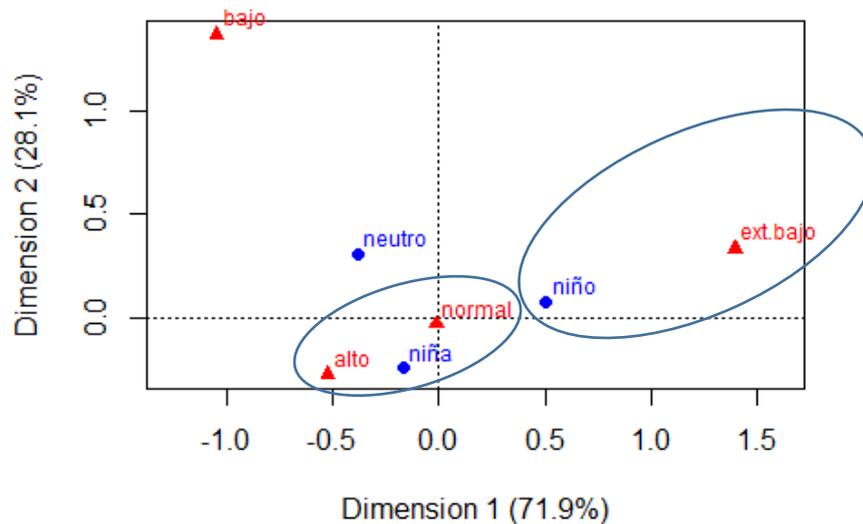
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Biplot de maíz



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Biplot de girasol



Fuente: Elaboración propia

4.4 Pérdidas económicas en la producción agrícola del Chaco asociadas a las fases ENOS

Confirmada la interdependencia entre las fases del ciclo ENOS y los rendimientos extremos de algodón, soja, maíz y girasol, se estimaron las ganancias y pérdidas del valor bruto de la producción (VBP) con respecto al VBP esperado, y se relacionó tales pérdidas y ganancias con las distintas fases del ciclo ENOS.

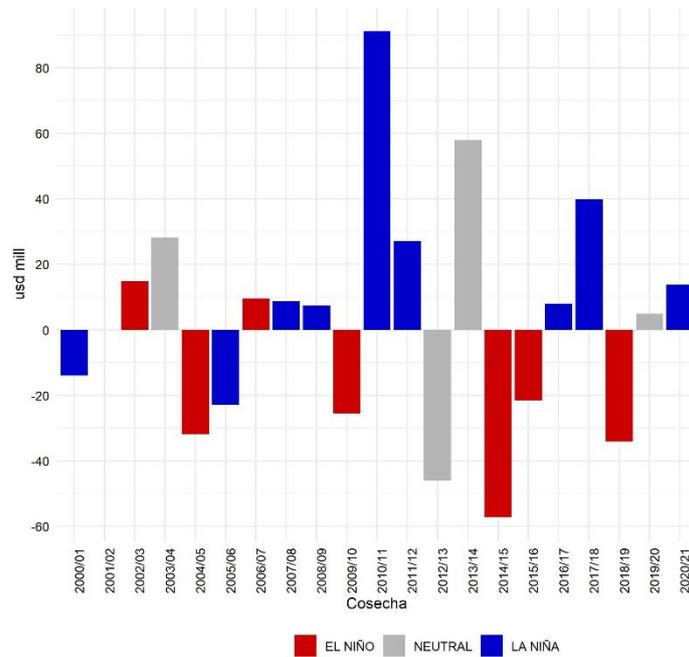
De las 21 campañas agrícolas analizadas, siete atravesaron la fase *El Niño*, nueve *La niña*, y cinco años fueron *Neutro*. Dentro de este lapso de tiempo, en 12 campañas (57%) el VBP real de algodón, soja y girasol estuvo por encima del VBP esperado (ganancia), y en nueve campañas (43%) el VBP real estuvo por debajo del VBP esperado (pérdidas). En maíz esta relación fue de 52% para campañas con ganancias y 48% campañas con pérdidas.

La Figura 10 muestra la relación entre pérdidas y ganancias de VBP de algodón con las fases ENOS. Allí se puede ver que, de las 9 campañas con pérdidas, el 56% fueron *El Niño*, el 22% *La Niña* y el 22% fueron años *Neutro*. La máxima pérdida fue de -57 millones de dólares (mdd) y se produjo en la campaña 2014/15, en una fase *El Niño débil*; en esa campaña agrícola los indicadores de rendimientos fueron 25% muy bajos, y 13% extremadamente bajos. También se destacan las pérdidas ocurridas en las campañas 2012/13 de -45 mdd, ocurrida en año *Neutro*, y la del año 2018/19, de -34 mdd, ocurrida también durante una fase *El Niño débil*. Los rendimientos de 2012/13 fueron 6% muy altos, 13% muy bajos y 19% extremadamente bajos. En cambio, en la campaña 2004/05 los rendimientos fueron normales.

Por el lado de las ganancias, de las 12 campañas con resultados positivo, el 58% se produjeron en fases *La Niña*, el 17% en fases *El Niño*, y 25% en años *Neutro*. La más importante, de +91 mdd, se produjo en la campaña 2010/11 durante una *Niña fuerte*; en esa campaña, los rendimientos fueron normales, lo cual atribuiría las ganancias en VBP a condiciones de mercado. También el VBP tuvo ganancias destacadas en 2013/14, +58 mdd, en año *Neutro*, y en 2017/18 durante una

Niña débil. A diferencia de la campaña 2010/11, esta vez los rendimientos tendieron hacia los extremos altos (25% muy alto y 6% extra alto en 2013/14, y 38% muy alto y 19% extra alto en 2017/18). En este caso las diferencias positivas en VBP se explicarían por una combinación entre efecto precio con mayores rendimientos.

Figura 10. Algodón. Pérdidas y ganancias de VBP por campaña, y su relación con fases ENOS

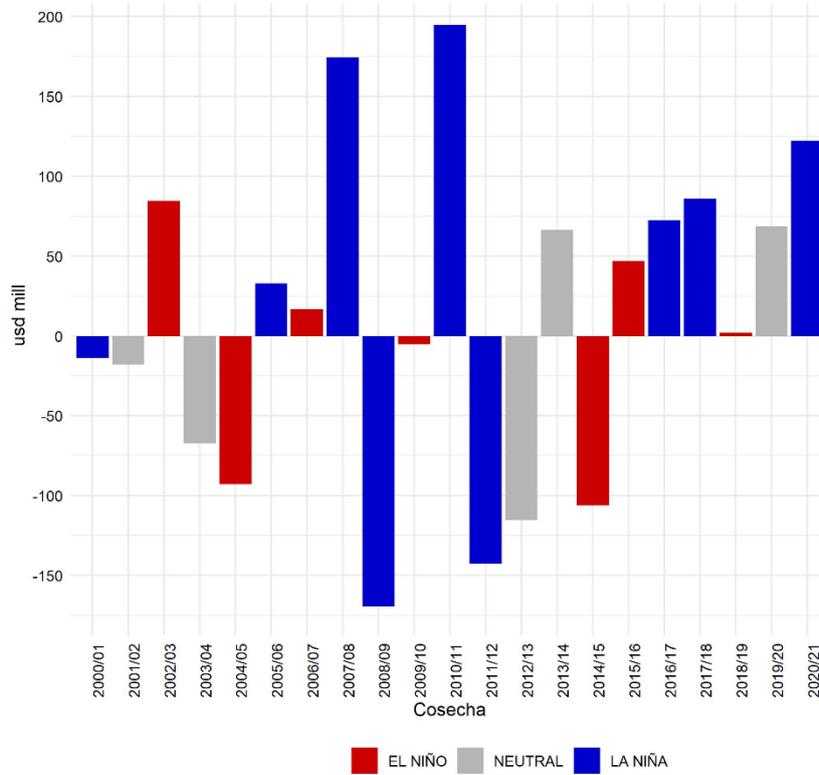


Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la cosecha de soja, las campañas con pérdidas de VBP se repartieron por igual, en un 33%, entre años *Niño*, *Niña* y *Neutro*. Se puede observar en la Figura 11, que la mayor pérdida, de -169 mdd, ocurrió en 2008/09 en un año *La Niña*. También fue significativa la pérdida sufrida en 2011/12 (-142 mdd) en fase *La Niña moderada*. También ocurrieron pérdidas importantes durante fases *El Niño*, en 2014/15 (-106 mdd), y en 2012/13 (-115 mdd), año *Neutro*. Salvo en 2014/15 en que los rendimientos fueron *normales*, en las tres campañas restantes hubo un alto porcentaje de departamentos con rendimientos muy bajos y extremadamente bajos, por lo tanto, la pérdida de VBP estaría explicada –al menos en parte– por la pérdida de rendimientos.

Los años con ganancia fueron en un 50% fase *Niña*, en un 33% fase *Niño*, y 17% en *Neutro*. La máxima ganancia de VBP fue de +195 mdd, y se produjo en 2011/12 durante una fase *La Niña fuerte*. De acuerdo a la Tabla 2 (analizada en el apartado 4.5) durante esa campaña agrícola, los rendimientos de soja fueron *normales*, por lo tanto, el excedente de VBP esperado, estaría explicado por mejoras en los precios a cosecha, con respecto a los precios al inicio de la campaña. Las mayores ganancias se producen, en orden de importancia, en las campañas: 2010/11 de fase *Niña Fuerte* (+195 mdd), 2007/08 de fase *Niña débil* (+174 mdd), en 2020/21 de fase *Niña moderado* (+122 mdd).

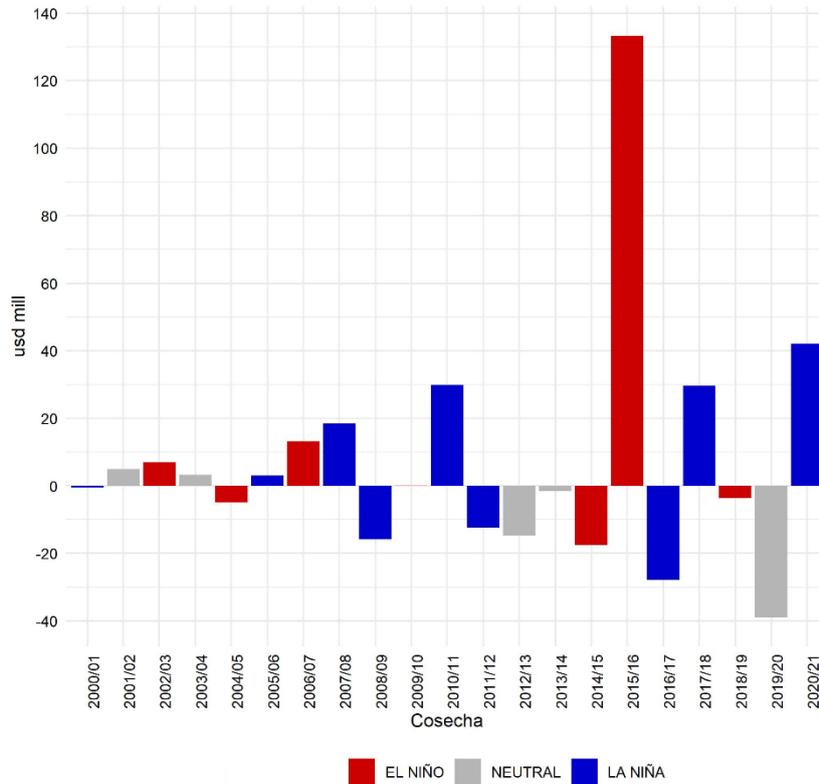
Figura 11. Soja. Pérdidas y ganancias de VBP por campaña, y su relación con fases *ENOS*



Fuente: Elaboración propia.

Las cosechas de maíz estuvieron repartidas 50%, aproximadamente, de años con ganancias y 50% de años con pérdidas. Entre los años con resultado negativo, el 40% se produjo en fases *La Niña*, el 30% en fase *El Niño* y el 30% en años *Neutro*, mientras que, para los años con resultados positivos, esta proporción fue del 45%, 36% y 18%, respectivamente. En la Figura 12 se puede ver que la máxima pérdida, de un monto aproximado de -39 mdd, se produjo en 2019/20 en un año *Neutro*; y la máxima ganancia, de aproximadamente +133 mdd, se produjo en 2015/16 en una fase *El Niño* de intensidad muy fuerte. Si se examina nuevamente la Tabla 2, se puede ver que, a pesar de *El Niño* muy fuerte, los rendimientos de maíz resultaron *normales* en esa campaña. Por lo tanto, en este caso, al igual que en soja, la ganancia en VBP estaría dada por efecto precio.

Figura 12. Maíz. Pérdidas y ganancias de VBP por campaña, y su relación con fases ENOS

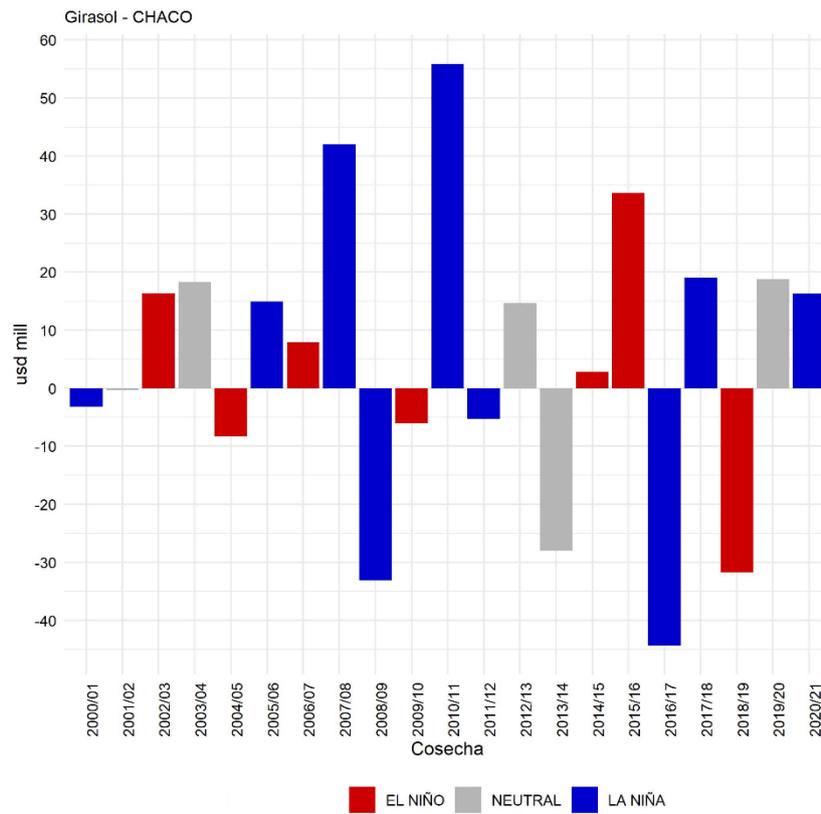


Fuente: Elaboración propia.

En cultivo de girasol, fueron más los años de ganancia (57%) que los de pérdida (43%), sin embargo, tanto pérdidas como ganancias se repartieron por igual entre las distintas fases: *La Niña* 43%, *El Niño* 33%, y *Neutro* 24%. En la Figura 13 se puede ver que las dos campañas con pérdidas más significativas, y las dos campañas con ganancias más significativas, ocurrieron en años *Niña* de intensidad débil en las pérdidas (campañas 2016/17 y 2008/9), y de *Niña* de intensidad fuerte en las ganancias (campañas 2010/11 y 2007/08).

En las campañas de ganancias de VBP, 2008/09 (niño débil) y 2016/17 (niño débil) los rendimientos de girasol resultaron *normales*; en las campañas de pérdida, en cambio, los rendimientos fueron *normales* en 2010/11 (niña fuerte) y un 38% *Muy bajo* en 2007/08 (niña fuerte). Esto indicaría que el efecto precio fue el factor determinante de las ganancias de VBP, y en las pérdidas, influyeron tanto la pérdida de rendimientos como las condiciones de mercado.

Figura 13. Girasol. Pérdidas y ganancias de VBP por campaña, y su relación con fases ENOS



Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Al analizar la tendencia de los rendimientos, dos tipos de los modelos de regresión resultaron estadísticamente significativos en cultivo de algodón: el “modelo 1” sin tendencia en cuatro departamentos (25%) y el “modelo 3” con cambio de tendencia en 12 departamentos (75%). Los cambios de tendencia se produjeron entre 2010/11 y 2012/13 en la Zona Mixta del Sudoeste; entre 2012/13 y 2014/15 en la Zona Agrícola del Oeste y en el Impenetrable; y en 2014/15 en la Zona Agrícola del Centro. En cultivo de soja, por su parte, el “modelo 1” de rendimientos sin tendencia resultó estadísticamente significativo en la totalidad de los departamentos de la Provincia, estabilizados en promedios que van entre 1.780 a 2.126 Kg/ha.año⁻¹, dependiendo de la zona. En maíz, en cambio, resultaron estadísticamente significativos los rendimientos con una única tendencia (modelo 2), que es notablemente más baja en la Zona Mixta del Norte, 72 Kg/ha.año⁻¹ y promedia los 175 Kg/ha.año⁻¹ en el resto de las zonas. En girasol, al igual que en soja, todos los departamentos resultaron con rendimientos sin tendencia, con un promedio estabilizado en torno a 1.567 Kg/ha.año⁻¹.

Con respecto a los indicadores de rendimientos extremos, el cultivo de algodón resultó ser el que presenta mayor frecuencia de rendimientos extremos (13 de 21 campañas, 62%), pero con bajas proporciones de departamentos con pérdidas y ganancias, que oscilan entre 0% y 37,5%; soja y maíz tiene rendimientos extremos con una menor frecuencia, 38% y 33%, respectivamente, pero de mayor alcance, con proporciones de departamentos que llegan hasta el 69% con rindes muy altos o muy bajos. En girasol, la frecuencia de ocurrencia de rendimientos extremos es bastante más baja, 29%, pero el alcance es mucho más amplio, con

pérdidas de rendimientos que llegaron a alcanzar al 100% de los departamentos. En ese sentido, la distribución de probabilidad de pérdidas de rendimiento de girasol parece tener las más anchas colas, resultando ser este cultivo el más riesgoso.

Se ha testeado estadísticamente la hipótesis de independencia entre rendimientos extremos y la ocurrencia de las distintas fases del ciclo *El Niño Oscilación Sur*. Mediante la prueba Chi-cuadrado y el Test Exacto de Fisher se rechazó la hipótesis nula, asumiendo que ambos eventos están relacionados. El análisis de correspondencia aportó algunos indicios de la naturaleza de la relación. En todos los cultivos bastaron dos *factores* para explicar la totalidad de la *inercia*, es decir, las dependencias observadas. Las tablas de contingencia y los biplots revelaron que en los rendimientos extremos altos de algodón y girasol estarían asociados a fases *La Niña*, y que los rendimientos extremos bajos de algodón a fases *neutras* del ciclo ENOS. En soja, los extremos bajos estarían asociados a *La Niña*, mientras que los rendimientos normales, tanto en soja como en maíz, a las fases *El Niño*. De todos modos, se reconoce que estos resultados deben examinarse cuidadosamente a la luz del conocimiento empírico, ya que la complejidad de los fenómenos estudiados no está suficientemente representada por los gráficos y por los modelos geométricos: como sostiene Benzécri (1977, p. 139) “*las representaciones geométricas surgidas del cálculo deben sostener al espíritu en su vuelo pero no pueden reemplazar el vuelo*”.

Del análisis de los datos de valor bruto de la producción, surge que las pérdidas de VBP en algodón estuvieron asociadas principalmente a pérdidas de rendimientos, mientras que en las ganancias influyeron tanto mejores precios como rendimientos por encima de los esperados. Las pérdidas de VBP de soja, se explicaron –al menos en parte- por pérdidas de rendimientos, y las ganancias, por la mejora de los precios a cosecha. En maíz en cambio, tanto pérdidas como ganancias de VBP estuvieron asociadas al “efecto precio”. En girasol, las pérdidas de VBP se explicaron por el efecto combinado de pérdida de rendimientos y de precios, y las ganancias, por mejores condiciones de mercado a cosecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial. (2013). *CHACO Cotton Agricultural Insurance Feasibility Study Final Report*.
- Benzécri, J.-P. (1977). El análisis de correspondencias. *Cahiers de l'analyse des données*, 2(2), 125-142.
- Cabrini, S. M., Fillat, F., Gattinoni, N., Ibern, D., Marino, M., Alvarez, R., Martín, G., Paolilli, C., Urcola, H., & Iurman, D. (2021). Variabilidad, tendencia y eventos extremos en los rendimientos agrícolas a nivel partido en la provincia de Buenos Aires. *Indicadores económicos e informes técnicos. INTA EEA Pergamino*, N°2, 87-95.
- Cuadra, D. E., & Mónaca, N. A. (2016). El centro-sudoeste de la provincia del chaco (argentina): un bastión agrícola. *Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE, Año 13(26)*.
- FAO. (2017). *The impact of disasters and crises on agriculture and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Timmermann, A., An, S.-I., Kug, J.-S., Jin, F.-F., Cai, W., Capotondi, A., Cobb, K. M., Lengaigne, M., McPhaden, M. J., Stuecker, M. F., Stein, K., Wittenberg, A. T., Yun, K.-S., Bayr, T., Chen, H.-C., Chikamoto, Y., Dewitte, B., Dommenges, D., Grothe, P., ... Zhang, X. (2018). El Niño–Southern Oscillation complexity. *Nature*, 559(7715), Art. 7715. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>