

## VARIABILIDAD, TENDENCIA Y EVENTOS EXTREMOS EN LOS RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS A NIVEL DE PARTIDOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Silvina Cabrini<sup>1,8</sup>, Francisco Fillat<sup>1</sup>, Natalia Gattinoni<sup>2</sup>, Danila Ibern<sup>3</sup>, Magdalena Marino<sup>4</sup>, Rubén Álvarez<sup>5</sup>, Guillermo Martín<sup>5</sup>, Cecilia Paolilli<sup>1</sup>, Hernán Urcoldi<sup>6</sup> y Daniel Iurman<sup>7</sup>

<sup>1</sup>INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Ruta 32 Km 4,5, Pergamino, Buenos Aires.

<sup>2</sup>INTA Instituto de Investigación Clima y Agua; Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, Hurlingham, Buenos Aires.

<sup>3</sup>INTA Agencia de Extensión Rural (AER); Bme Mitre 299, San Pedro, Buenos Aires.

<sup>4</sup>INTA AER Brandsen; Ruta 29 Km 2, Coronel Brandsen, Buenos Aires.

<sup>5</sup>INTA AER Trenque Lauquen; Uriburu 259, Trenque Lauquen, Buenos Aires.

<sup>6</sup>INTA EEA Balcarce; Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires.

<sup>7</sup>INTA EEA Ing. Ascasubi; Ruta 3 Km 794, Hilario Ascasubi, Buenos Aires.

<sup>8</sup>Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Monteagudo 2772, Pergamino, Buenos Aires.

[cabrini.silvina@inta.gob.ar](mailto:cabrini.silvina@inta.gob.ar)

### Resumen

Recibido: 12/2021

Aceptado: 04/2022

#### Palabras clave

Variabilidad climática.

ENSO.

Productividad.

Tendencia.

La variabilidad climática es el principal determinante de las fluctuaciones en los resultados productivos y económicos de la agricultura. Debido al Cambio Climático, se espera que en los próximos años ocurran eventos extremos con mayor frecuencia e intensidad. Ante este escenario, los estudios relacionados con los efectos de la variabilidad climática sobre la producción agropecuaria son de especial interés.

Este estudio analiza las series de tiempo de rendimientos a nivel de partido de los principales cultivos en la provincia de Buenos Aires, en el período 2000/01-2020/21. Se identifica la tendencia y ocurrencia de valores extremos en los rendimientos de trigo, maíz y soja. Las frecuencias de valores extremos se relacionan con las fases del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) observadas para cada campaña. Se estiman los valores económicos de las pérdidas/ganancias en la producción de los tres cultivos con respecto a los valores esperados para cada campaña.

Los rendimientos muestran tendencias positivas significativas en 78%, 46% y 30% de los partidos para trigo, maíz y soja, respectivamente. Hay una relación significativa entre las frecuencias de valores extremos de rendimientos y las fases del ENSO, siendo esta relación más importante en los cultivos de verano. Se destaca, en particular, una frecuencia relativa del 38 y 41% para rendimientos extremadamente bajos o muy bajos, en campañas clasificadas como segunda La Niña consecutiva, para maíz y soja, respectivamente. Mientras que las frecuencias de rendimientos extremadamente bajos o muy bajos en campañas clasificadas como año neutro o El Niño son entre 0% - 3%. En cuanto al valor económico de las cosechas de los tres cultivos, las diferencias entre los valores obtenidos vs. esperados acumuladas en el período, son valores positivos de +3285 y +872 mill usd en años "El Niño" para las regiones norte y sur, respectivamente, y negativas de -3387 y -388 mill usd, en años "La Niña" para ambas zonas respectivamente.

Los resultados aportan evidencia sobre el potencial valor de los pronósticos estacionales basados en el ENSO para la agricultura. Sin embargo, es necesario profundizar en el análisis sobre los efectos del ENSO y otros fenómenos estacionales sobre los rendimientos. Siendo también necesaria más información sobre las actitudes de los productores pampeanos y las distintas alternativas de manejo disponibles frente a estos pronósticos.

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

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

## VARIABILITY, TREND, AND EXTREME EVENTS IN AGRICULTURAL YIELDS AT THE COUNTY LEVEL IN THE PROVINCE OF BUENOS AIRES

Silvina Cabrini<sup>1,8</sup>, Francisco Fillat<sup>1</sup>, Natalia Gattinoni<sup>2</sup>, Danila Ibern<sup>3</sup>, Magdalena Marino<sup>4</sup>, Rubén Álvarez<sup>5</sup>, Guillermo Martín<sup>5</sup>, Cecilia Paolilli<sup>1</sup>, Hernán Urcola<sup>6</sup> y Daniel Iurman<sup>7</sup>

<sup>1</sup>INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Ruta 32 Km 4,5, Pergamino, Buenos Aires.

<sup>2</sup>INTA Instituto de Investigación Clima y Agua; Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, Hurlingham, Buenos Aires.

<sup>3</sup>INTA Agencia de Extensión Rural (AER); Bme Mitre 299, San Pedro, Buenos Aires.

<sup>4</sup>INTA AER Brandsen; Ruta 29 Km 2, Coronel Brandsen, Buenos Aires.

<sup>5</sup>INTA AER Trenque Lauquen; Uriburu 259, Trenque Lauquen, Buenos Aires.

<sup>6</sup>INTA EEA Balcarce; Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires.

<sup>7</sup>INTA EEA Ing. Ascasubi; Ruta 3 Km 794, Hilario Ascasubi, Buenos Aires.

<sup>8</sup>Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Monteagudo 2772, Pergamino, Buenos Aires.

*cabrini.silvina@inta.gob.ar*

### Abstract

#### KEYWORDS

Climatic variability.

ENSO.

Productivity.

Trend.

Climate variability is the main determinant of fluctuations in the productive and economic results of agriculture. Extreme events are expected to occur with greater frequency and intensity in the future. In this scenario, the effects of climate variability on agricultural production are of special interest.

This study analyzes the time series of yields at the county level of the main crops in the province of Buenos Aires, in the period 2000/01-2020/21. The trend and occurrence of extreme values of wheat, corn and soybean yields are identified. The frequencies of extreme values are related to the phases of the ENSO -El Niño-Southern Oscillation phenomenon, for each crop year.

Yields show significant positive trends in 78%, 46% and 30% of the counties for wheat, corn and soybean, respectively. There is a significant relationship between the frequencies of extreme yield values and the ENSO phases, this relationship being more important in summer crops. In particular, there is a relative frequency of extremely low or very low yields of 38 and 41%, in second consecutive La Niña crop years, for corn and soybean, respectively. While the frequencies of extremely low or very low yields in neutral or El Niño crop years are between 0% - 3%. Regarding the economic value of production, the differences between obtained vs. expected values, accumulated in the period, are positive values of +3285 and +872 million USD in “El Niño” years for the north and south regions, respectively, and negative values of -3387 and -388 million USD, in “La Niña” years for both regions, respectively.

The results provide evidence on the potential value of ENSO-based seasonal forecasts for agriculture. However, it is necessary to deepen the analysis of the effects of ENSO and other seasonal phenomena on yields. It is also necessary more information about the attitudes of the farmers in the Pampas and the different management alternatives that can be adjusted based on these forecasts.

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

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

## 1. INTRODUCCIÓN

Argentina es un participante clave en los mercados mundiales de los principales productos agropecuarios. Ocupando el 3er, 5to y 10mo lugar entre los países productores de soja, maíz y trigo respectivamente (WASDE, 2022). La mayor parte de estos productos se produce en la región Pampeana, una de las principales regiones agrícolas del mundo. La soja, el maíz y el trigo representan en conjunto cerca de la mitad del valor del total exportado por Argentina (INDEC, 2022), por lo que estas producciones son extremadamente importantes para la balanza comercial del país. Las fluctuaciones en la productividad y los precios de estos cultivos tienen impactos importantes en el bienestar de la población dentro y fuera del territorio.

Si bien existen diferentes tipos de riesgos en la agricultura (Komarek, De Pinto, & Smith, 2020), la variabilidad climática es el principal determinante de las fluctuaciones en los resultados productivos y económicos de esta actividad (Thomasz, Vilker, & Rondinone, 2019). Recientemente el IPCC confirmó que el cambio climático global está provocando eventos extremos más frecuentes y dañinos, que afectan el desempeño de los sistemas de producción [Contribución al 6° informe de evaluación – GT I – IPCC <https://www.ipcc.ch/informe-evaluación/ar6/>]. Ante este escenario, los efectos de la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos extremos sobre la producción agropecuaria son de especial interés.

Este estudio analiza las series de tiempo de rendimientos de los principales cultivos: maíz, trigo y soja, en el período 2001-2021. Se identifican la tendencia, variabilidad y ocurrencia de valores extremos de los rendimientos a nivel de partidos en la provincia de Buenos Aires, Región Pampeana Argentina. A su vez, la ocurrencia de valores extremos se relaciona con las fases del fenómeno ENSO registradas para cada campaña.

## 2. FENÓMENOS CLIMÁTICOS A GRAN ESCALA Y RENDIMIENTOS DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

Cuando se analiza la variabilidad de los rendimientos de los cultivos, varios estudios buscan relacionar los desvíos de los valores esperados con la ocurrencia de fenómenos climáticos de gran escala. Esta relación se basa en que dichos fenómenos climáticos influyen sobre los regímenes de lluvias y temperaturas en las distintas áreas productivas del mundo (Trenberth & Stepaniak, 2001, Ropelewski & Halpert, 1987).

En particular se han identificado importantes impactos del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) sobre la agricultura mundial, generando pérdidas o ganancias en la actividad de acuerdo a la región y fase del fenómeno (Anderson-teixeira et al., 2012; Iizumi et al., 2014). El interés por la relación entre los rendimientos y el ENSO se basa en la posibilidad de disponer de pronósticos climáticos estacionales para un determinado ciclo del cultivo con varios meses de anticipación (Ceglar et al. 2017). De esta manera, los pronósticos podrían estar disponibles para los productores al momento de la planificación de los cultivos y planteos técnicos.

ENSO es un fenómeno oceánico- atmosférico que se refiere a la variación de las temperaturas de la superficie del mar en la mitad oriental del Océano Pacífico tropical, asociada a alteraciones en la circulación atmosférica (Anderson et al., 2017). Este fenómeno es capaz de influir sobre el clima durante largos períodos y estar asociado a la ocurrencia de sequías e inundaciones en diferentes regiones del mundo. La capacidad de pronosticar el ENSO en el mediano plazo, y la relación entre este fenómeno y la precipitaciones y temperaturas, genera interés en la posibilidad de incorporar esta información en la toma de decisiones dentro de las empresas agropecuarias (Rizzo, Mazzilli, Ernst, Baethgen, & Berger, 2022). Estudios previos realizados en otras regiones

productivas indicaron un valor potencial considerable de los pronósticos climáticos basados en ENSO para la agricultura (Adams et al., 1999; Solow et al., 1998). Los pronósticos climáticos pueden mejorar la toma de decisiones agrícolas y de esta manera reducir los impactos negativos de la variabilidad climática sobre la producción. También permiten aumentar los niveles de producción ante buenas condiciones climáticas.

El fenómeno del ENSO presenta tres fases: una fase cálida o El Niño, una fase Neutral y una fase fría o La Niña, esta clasificación se asigna según las anomalías de las temperaturas del mar. En el Sudeste de Sudamérica y en particular sobre la región Pampeana, en general, se asocia a la fase La Niña con la mayor ocurrencia de precipitaciones menores a los promedios históricos y a la fase El Niño a acumulados superiores a los históricos (Grimm, Barros & Doyle, 2000; Penalba, Beltran & Messina, 2005). Información sobre el ENSO ha sido utilizada para explicar situaciones de sequías e inundaciones e impactos sobre los rendimientos de los cultivos en la región pampeana argentina (Barros et al., 2015; de la Casa, Ovando, & Díaz, 2021; Fernández Long, Spescha, Hurtado, & Murphy, 2011, Anderson et al. 2017).

El objetivo principal de este estudio es actualizar la información sobre la relación entre las fases del ENSO y los rendimientos de soja, maíz y trigo a nivel departamental para la provincia de Buenos Aires. Se presenta también un cálculo de pérdidas y ganancias económicas en la producción de los tres cultivos con respecto a los valores esperados en cada campaña. Este trabajo se plantea como parte de un estudio más amplio sobre la utilidad de estos pronósticos para la agricultura Pampeana.

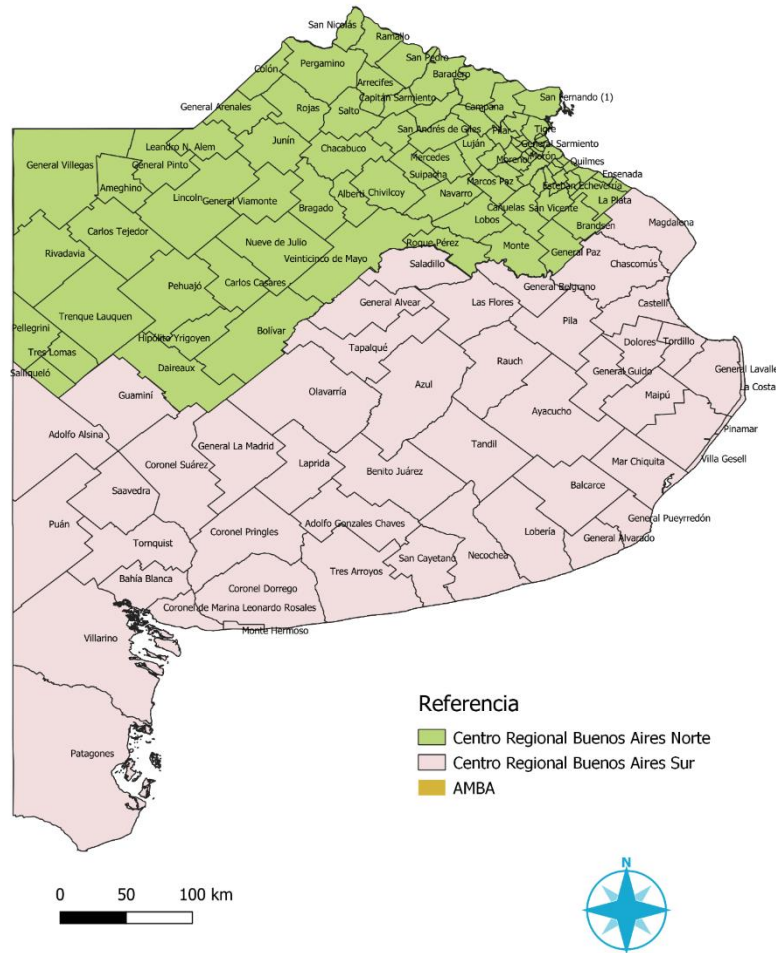
### **3. DATOS Y MÉTODOS**

El área de estudio es la provincia de Buenos Aires, la cual está dividida en las regiones norte y sur<sup>1</sup> (Figura 1). Los datos utilizados son los rendimientos por unidad de superficie a nivel de departamento de la base de datos de Estimaciones Agrícolas del MAGyP para trigo total, maíz y soja total. El período de estudio es 2000/01-2020/21 y se consideran los cultivos en los partidos con la serie de datos completa para este período.

---

<sup>1</sup> Se utiliza la división de INTA para sus Centros Regionales.

Figura 1. Área de estudio, provincia de Buenos Aires, Argentina.



Fuente: Mapa elaborado por el grupo GIS, INTA EEA Pergamino

Para las series de rendimientos por partido se consideran tres modelos alternativos:

$$\text{Modelo sin tendencia:} \quad R_{ijt} = \alpha_{ij} + \varepsilon_{ijt} \quad [1]$$

$$\text{Modelo con tendencia lineal simple:} \quad R_{ijt} = \alpha_{ij} + \beta_{ij} t + \varepsilon_{ijt} \quad [2]$$

$$\text{Modelo con cambio de tendencia:} \quad R_{ijt} = \alpha_{ij} + \beta_{1ij} t + \beta_{2ij} (t - t^*)_+ + \varepsilon_{ijt} \quad [3]$$

Donde:

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

$i$  es el set de actividades agrícolas. Se consideran trigo, maíz y soja.

$j$  es el set de partidos.

$t$  es el set de campañas consideradas: 2000/01-2020/21

$t^*$  es el punto de cambio de tendencia (Fong, 2020)  $(t - t^*)_+ = t - t^*$  si  $t > t^*$  y 0 si  $t \leq t^*$

Para el cálculo de los desvíos estandarizados se eligió el modelo que mejor describe cada serie de rendimientos por partido y cultivo: i) si la tendencia no es significativa se utiliza el modelo [1], ii) si la tendencia es significativa y el cambio de tendencia no lo es, se utiliza el modelo [2], si el cambio de tendencia es significativo se utiliza el modelo [3].

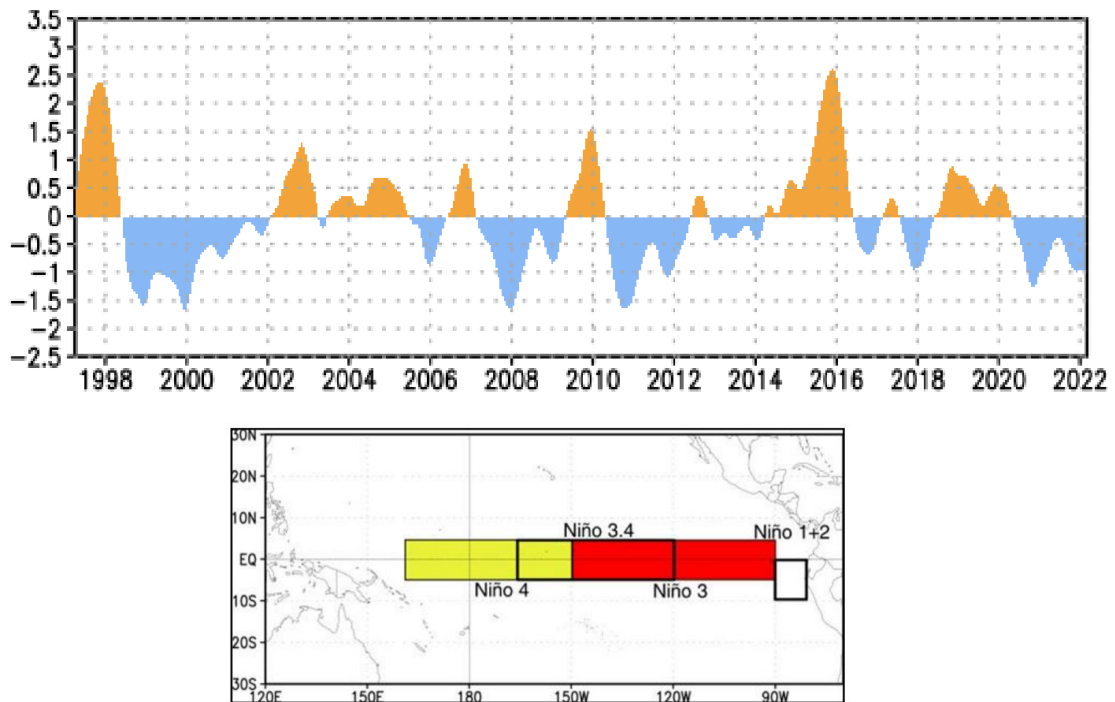
Luego los valores rendimientos se clasifican de acuerdo a la cantidad de desvíos estandarizados con respecto al valor estimado, según el siguiente criterio:

- Extremadamente alto si el desvío  $>2$
- Muy alto  $>1.5$  &  $<2$
- Muy bajo  $<-1.5$  &  $>-2$
- Extremadamente bajo  $<-2$

Para posteriormente, realizar el conteo de partidos con valores extremos de rendimientos en cada campaña.

Figura 2. Arriba: Evolución de la anomalía de temperatura en la superficie del océano en la zona Niño 3.4.

Abajo: ubicación geográfica del área de registro de las anomalías de temperaturas del océano.



Fuente: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

Tabla 1. Clasificación de las campañas analizadas según fase del ENSO

Campaña	Evento - ENSO
2000/01	niña.debil
2001/02	neutro
2002/03	niño.moderado
2003/04	neutro
2004/05	niño. debil
2005/06	niña.debil
2006/07	niño. debil
2007/08	niña.fuerte
2008/09	niña.debil (2da niña consecutiva)
2009/10	niño.moderado
2010/11	niña.fuerte
2011/12	niña.moderada (2da niña consecutiva)
2012/13	neutro
2013/14	neutro
2014/15	niño. debil
2015/16	niño.muy fuerte (2do niño consecutivo)
2016/17	niña.debil
2017/18	niña.debil (2da niña consecutiva)
2018/19	niño. debil
2019/20	neutro
2020/21	niña.moderada

Fuente: Elaboración propia en base a

[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

**Nota:** Las campañas se definen con 5 períodos consecutivos-superpuestos de 3 meses  $\geq +0.5$  para **El Niño** y  $\leq -0.5$  para **La Niña**. Se subdivide cada fase en eventos **débiles** (con un valor absoluto de anomalía de 0,5 a 0,9), **moderados** (1,0 a 1,4), **fuertes** (1,5 a 1,9) y **muy fuertes** ( $\geq 2,0$ ). Para esta subdivisión, se debe haber igualado o excedido el umbral durante al menos 3 períodos consecutivos superpuestos de 3 meses.

Se relaciona la cantidad de partidos con eventos extremos por campaña con la fase del fenómeno ENSO para cada campaña (Tabla 1). Existen distintos índices para clasificar las fases del ENSO, en este trabajo se utilizan los valores del *Oceanic Niño Index* (ONI). Este índice, reportado por la NOAA, se basa en los cambios de la temperatura del Océano Pacífico ecuatorial, considerando las anomalías de la temperatura de la superficie del océano en la región Niño 3.4 a partir de una media móvil trimestral (Figura 2, Tabla 1).

Con aproximadamente 2000 observaciones de rendimiento para cada cultivo (90-96 partidos x 21 campañas), se realizaron tablas de contingencia de frecuencias que muestran cuántos puntos caen en cada combinación de categorías de las dos variables consideradas: valores normales o extremos de rendimiento y las fases del fenómeno ENSO. La relación entre ambas variables se probó estadísticamente con el *Fisher's Exact Test of Independence*. Este test se utiliza para probar la hipótesis nula de la independencia entre filas y columnas en una tabla de contingencia.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> El Fisher's Exact Test of Independence se recomienda para analizar tablas de contingencia que contiene celdas con menos de 5 observaciones, como es el caso del dataset de este estudio.

Finalmente, se calculan las pérdidas y ganancias con respecto al valor esperado de las cosechas de maíz, trigo y soja, en cada campaña. Estas se calculan para cada partido como la diferencia entre el valor de la producción obtenido [ecuación 4] y el valor de la producción esperado [ecuación 5].

$$VP_{jt} = \sum_i prod_{ijt} * precio_{siemb_{it}} \quad [4]$$

$$VPE_{jt} = \sum_i rend_{pred_{ijt}} * sup_{semb_{ijt}} * prop_{cos_{ij}} * precio_{siemb_{it}} \quad [5]$$

Donde:

$VP_{jt}$  es el valor de la producción de trigo, maíz y soja, obtenido en la campaña t para el partido j (usd)

$VPE_{jt}$  es el valor esperado de la producción de trigo, maíz y soja, obtenido en la campaña t para el partido j (usd)

$prod_{ijt}$  es la producción del cultivo i en la campaña t para el partido j (tn)

$precio_{siembra_{it}}$  es el precio del producto i para la campaña t al momento de la siembra (usd/tn)

$rend_{pred_{ijt}}$  es el rendimiento esperado para el cultivo i para la campaña t y el partido j (tn/ha)

$sup_{semb_{ijt}}$  es la superficie sembrada para el cultivo i en la campaña t, en el partido j (ha)

$prop_{cos_{ij}}$  es la proporción promedio de superficie sembrada que se cosecha para el cultivo i en el partido j

Las pérdidas y ganancias para las regiones norte y sur de Buenos Aires se calculan sumando los partidos que pertenecen a cada región.

#### 4. RESULTADOS

Las tendencias positivas en el rendimiento durante el período analizado son significativas en aproximadamente el 80% de los partidos de Buenos Aires en el caso de trigo, en 50% para maíz y en 30% para soja (Tabla 2). En el caso de trigo se detecta un cambio de tendencia (disminución) en la mitad de los partidos analizados de la región norte, este cambio se produce entre 2006 y 2009 según el partido.

En trigo y soja, la zona norte de Buenos Aires es la de mayor proporción de partidos con tendencia significativa y tendencias promedio superiores. En cambio, en maíz, la proporción de partidos con tendencia significativa es similar entre las distintas regiones, con mayor tendencia promedio para la región sur.



Tabla 2. Resultados de los modelos de tendencias de las series de rendimientos 2000/01-2020/21 para los partidos de Buenos Aires.

<b>TRIGO</b>	<b>Buenos Aires</b>	<b>Buenos Aires</b>	<b>Total Buenos</b>
	<b>Norte</b>	<b>Sur</b>	<b>Aires</b>
Partidos del territorio	47	45	92
Partidos con tendencia significativa (%)	89%	67%	78%
Partidos con cambio de tendencia significativa (%)	47%	7%	27%
Tendencia promedio (kg año <sup>-1</sup> )	92	69	80
Rendimiento estimado 2021 (kg año <sup>-1</sup> )	4055	3691	3877
<b>MAIZ</b>			
Partidos del territorio	47	49	96
Partidos con tendencia significativa (%)	47%	45%	46%
Partidos con cambio de tendencia significativa (%)	0%	8%	4%
Tendencia promedio (kg año <sup>-1</sup> )	108	152	131
Rendimiento estimado 2021 (kg año <sup>-1</sup> )	8310	6840	7560
<b>SOJA</b>			
Partidos del territorio	47	41	88
Partidos con tendencia significativa (%)	34%	24%	30%
Partidos con cambio de tendencia significativa (%)	0%	0%	0%
Tendencia promedio (kg año <sup>-1</sup> )	47	44	46
Rendimiento estimado 2021 (kg año <sup>-1</sup> )	3182	2275	2759

Fuente: Elaboración propia.

La relación entre la ocurrencia de eventos extremos y la fase del ENSO para la campaña es significativa para los tres cultivos (Fisher's Exact Test of Independence: p-value < 0.01). Para los cultivos de verano donde la relación es más fuerte, casi todas las observaciones de rendimientos extremadamente bajos y muy bajos ocurren en campañas clasificadas como “La Niña” (Tabla 3).

Se destaca en particular la elevada frecuencia relativa total de rendimientos extremadamente bajos o muy bajos (38 y 41%), en campañas clasificadas como segunda La Niña consecutiva, para soja y maíz, respectivamente. Mientras que las frecuencias de rendimientos extremadamente bajos o muy bajos en campaña neutras o El Niño son entre 0% - 3%, para ambos cultivos. Por otro lado, la frecuencia relativa de rendimientos extremadamente altos o muy altos tiene un máximo de 17% y 16 % para maíz y soja, respectivamente en campañas clasificadas como “El Niño.”

En cuanto a los rendimientos de trigo, si bien hay una asociación significativa entre las fases de ENSO y la ocurrencia de valores extremos, hay mayor dispersión en la ocurrencia de valores extremos entre las distintas fases del ENSO. En este cultivo, los valores de rendimiento

extremadamente bajos y muy bajos se presentaron con mayor frecuencia en campañas El Niño, mientras que los valores de rendimiento extremadamente altos y muy altos se presentaron con mayor frecuencia en campañas La Niña.

Tabla 3. Frecuencias relativas de niveles extremadamente altos/bajos, muy altos/bajos y normales según la clasificación de la fase del ENSO.

<b>TRIGO</b>					
Fase ENSO	extremadamente bajo	muy bajo	extremadamente alto	muy alto	sin extremos
2da.niña consecutiva	2%	4%	5%	7%	83%
niña.fuerte	3%	8%	1%	5%	83%
niña.moderada	0%	12%	0%	0%	88%
niña.debil	1%	2%	0%	1%	96%
neutro	3%	10%	1%	6%	80%
niño. débil	0%	2%	0%	2%	97%
niño.moderado	11%	15%	0%	0%	73%
2do.niño consecutivo	4%	1%	0%	0%	95%
<b>MAÍZ</b>					
Fase ENSO	extremadamente bajo	muy bajo	extremadamente alto	muy alto	sin extremos
2da.niña consecutiva	22%	19%	0%	0%	59%
niña.fuerte	0%	0%	1%	2%	98%
niña.moderada	1%	0%	0%	1%	98%
niña.debil	1%	3%	1%	1%	94%
neutro	0%	3%	1%	1%	95%
niño. débil	1%	1%	1%	7%	91%
niño.moderado	1%	2%	1%	16%	81%
2do.niño consecutivo	0%	1%	2%	3%	94%
<b>SOJA</b>					
Fase ENSO	extremadamente bajo	muy bajo	extremadamente alto	muy alto	sin extremos
2da.niña consecutiva	30%	8%	0%	0%	61%
niña.fuerte	0%	3%	0%	2%	95%
niña.moderada	0%	6%	0%	0%	94%
niña.debil	0%	1%	0%	1%	98%
neutro	0%	0%	0%	0%	100%
niño. débil	0%	0%	1%	8%	91%
niño.moderado	0%	1%	4%	2%	93%
2do.niño consecutivo	0%	0%	5%	11%	84%

Fuente: Elaboración propia.

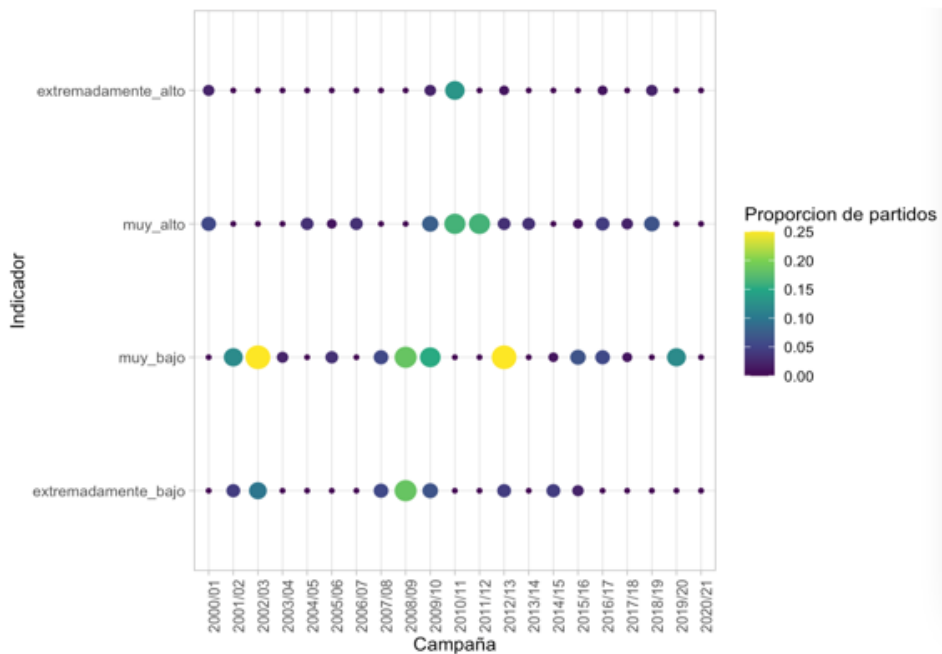
**Nota:** Los valores de rendimiento se clasifican según la cantidad de desvíos que se alejan del valor esperado estimado mediante los modelos de regresión lineal: Extremadamente alto  $>2$  desvíos estandarizados, Muy alto  $>1.5$  &  $<2$ , Muy bajo  $<-1.5$  &  $>-2$ , Extremadamente bajo  $<-2$ , Normal  $>-1.5$  &  $<1.5$ .

Las figuras 3, 4 y 5 muestran la proporción de partidos de la provincia con valores extremos de rendimiento para cada campaña del periodo, para trigo, maíz y soja respectivamente. En trigo

los valores extremadamente bajos y muy bajos se producen en una alta proporción de los partidos en las campañas 2002/03, 2008/09 y 2012/13 (Figura 3). La campaña 2002/2003 corresponde a El Niño, 2008/2009 corresponde a un año La Niña, 2012/2013 corresponde a un año Neutro. En esta última campaña, la incidencia de *fusarium* tuvo fuertes impactos negativos en los rendimientos, particularmente se observaron niveles epidémicos severos sobre todo en el cuadrante noreste de la región pampeana (Gonzalez, Fernanda, 2020, com pers, Moschini et al., 2016).

Por otro lado, la mayor frecuencia de partidos con valores extremadamente altos de rendimientos se da en la campaña 2010/11, en esta campaña la situación fue de La Niña. La figura 3 muestra una mayor dispersión en la ocurrencia de valores extremos de rendimientos de trigo entre las campañas, en comparación con las figuras 4 y 5 que corresponden a los cultivos de verano.

Figura 3. Cantidad de partidos de la Provincia de Buenos Aires con valores extremos de rendimientos de trigo para el período 2000/01-2020/21.

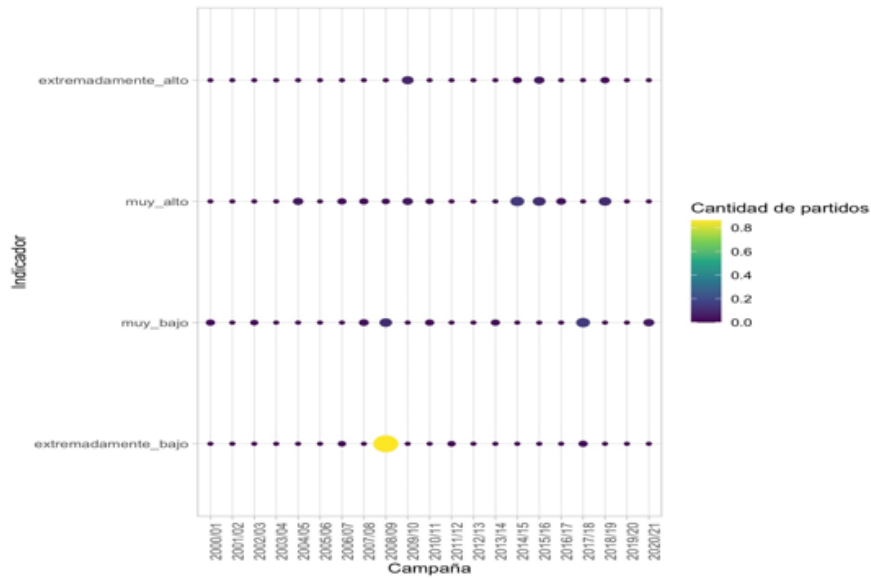


Fuente: Elaboración Propia.

En los cultivos de verano los valores extremos negativos ocurrieron en la mayoría de los partidos en la cosecha 2009, y en un número menor de partidos en la cosecha 2018. En ambos casos las campañas se caracterizaron por un segundo evento La Niña consecutivo (Figuras 4 y 5).

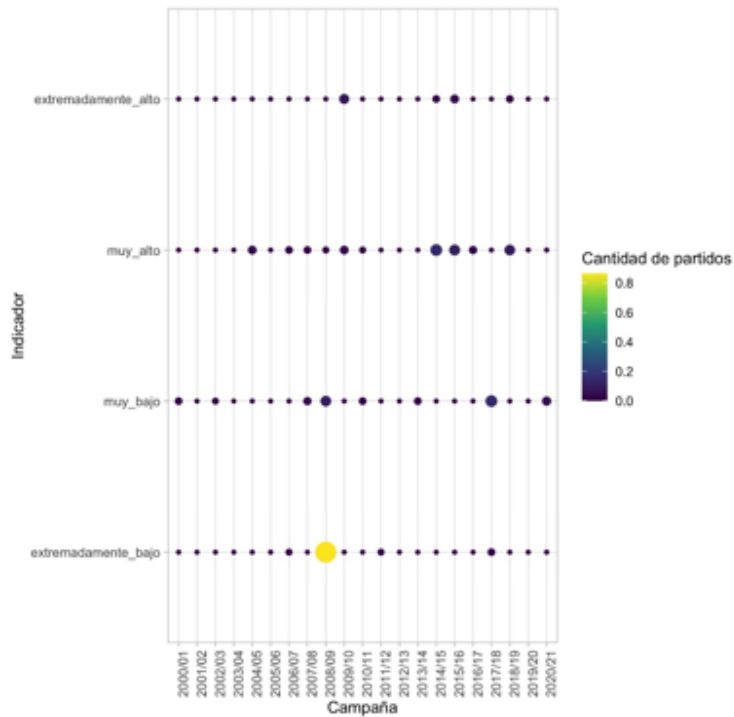
Los valores extremadamente altos de rendimientos aparecen en las cosechas 2015 y 2019 en soja y 2004, 2007 y 2019 en maíz. La cosecha 2004 corresponde a un año Neutro, en las otras tres campañas fueron de Niño débil.

Figura 4. Cantidad de partidos de la Provincia de Buenos Aires con valores extremos de rendimientos de maíz para el período 2000/01-2020/21.



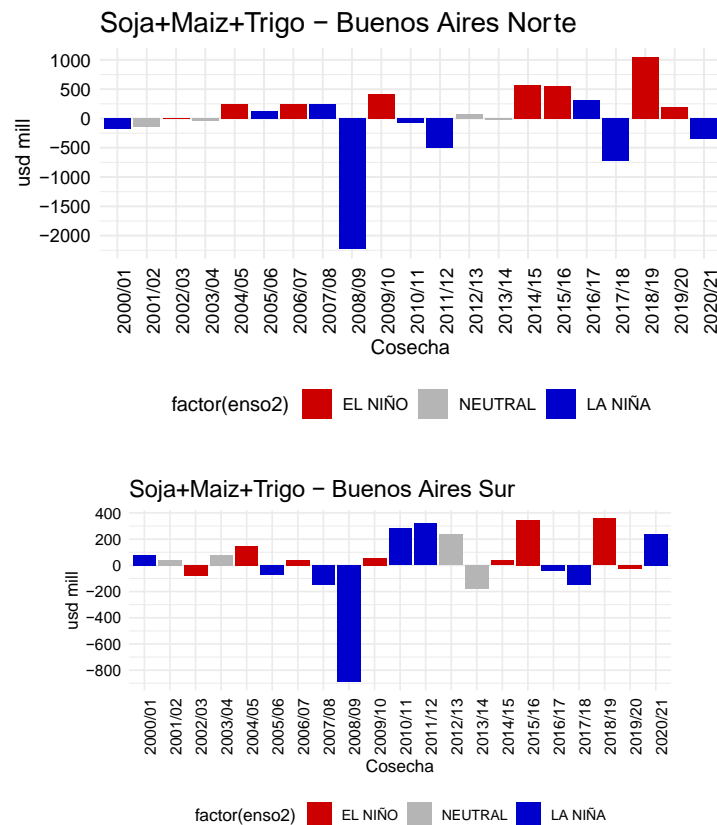
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Cantidad de partidos de la Provincia de Buenos Aires con valores extremos de rendimientos de soja para el período 2000/01-2020/21.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6. Diferencias entre el valor esperado y el obtenido de la producción de soja, maíz y trigo. Regiones norte y sur de Buenos Aires.



Fuente: Elaboración propia.

Los paneles de la figura 6 muestran las pérdidas y ganancias con respecto al valor esperado de las cosechas de maíz, trigo y soja para las dos regiones de Buenos Aires. La relación entre la ocurrencia de diferencias positivas y negativas y la fase del ENSO es más evidente en el norte de Buenos Aires. En esta región, todas las diferencias positivas se dan en años El Niño y las diferencias negativas más importantes en la fase “La Niña”. En ambas regiones las diferencias acumuladas en el período analizado muestran ganancias de +3285 y +872 en años “El Niño” para norte y sur, respectivamente, y negativas de -3387 y -388, en años “La Niña” para ambas zonas respectivamente.

## 5. DISCUSIÓN

El análisis de las tablas de contingencia de frecuencias realizado en este estudio confirma la relación entre la ocurrencia de eventos extremos en los rendimientos de los principales cultivos y la fase del fenómeno ENSO en la provincia de Buenos Aires para el periodo 2000-2021. Este resultado coincide con resultados reportados otros autores para periodos anteriores y otras provincias de la región pampeana de Argentina y Uruguay (de la Casa, Ovando & Díaz, 2021; Fernández Long et al., 2011; Rizzo et al., 2022).

En la provincia de Buenos Aires, al igual que lo reportando por de la Casa, Ovando, & Díaz (2021) para la provincia de Córdoba en el período 2000-2017, se identifica una mayor expansión geográfica de los efectos del ENSO en el cultivo de soja, con valores extremos concentrados en menos campañas para la mayoría de los departamentos. Por otro lado, el trigo muestra menos sensibilidad a las fases del ENSO, en comparación con los cultivos de verano. Esto se explica

principalmente porque la etapa del cultivo con mayores requerimientos hídrico y en consecuencia para la definición de rendimientos no coincide con la época de mayor señal del fenómeno ENSO (Barros et al., 2015).

Si bien la mayoría de los estudios sobre los efectos del clima en la actividad agropecuaria se enfocan en los cambios en los rendimientos de los cultivos, algunos trabajos han identificado pérdidas económicas extremas para la producción de soja a nivel nacional (Thomasz et al., 2015) y departamental en la Región Pampeana (Thomasz, Vilker & Rondinone, 2019). Dentro del periodo de los últimos 20 años, estos autores identifican a las campañas 2008/09 y 2011/2012 como las de mayores pérdidas económicas por sequía. Estos resultados coinciden con los reportados en el presente trabajo considerando los tres principales cultivos para la provincia de Buenos Aires. Al incorporar más campañas en el análisis, la cosecha 2018 aparece como la segunda campaña con mayores pérdidas, con un impacto mayor a 2011/2012 y menor a 2008/2009. Es interesante destacar que estas tres campañas corresponden a situaciones de La Niña.

La capacidad de predecir las fases del ENSO con varios meses de anticipación, y la relación significativa entre este fenómeno y la ocurrencia de niveles extremos de rendimientos, generan interés en la utilidad de estos pronósticos en la agricultura pampeana. A pesar de ello, los estudios coinciden en que la posibilidad de utilizar la información de pronósticos estacionales basados en ENSO para adaptar las prácticas de manejo es limitada. Esto ocurre en primer lugar porque el nivel de dispersión en la relación es importante. Por ejemplo, para Buenos Aires si bien por un lado los niveles muy bajos de rendimientos en los cultivos de verano ocurren casi en su totalidad en años La Niña, la probabilidad que obtener un rendimiento muy bajo o extremadamente bajo en un año La Niña es menor al 50%. Adicionalmente, de la Casa, Ovando, & Díaz (2021) reportan valores menores al 25% para la correlación entre la anomalía de SST y los desvíos de rendimientos con respecto a la tendencia, en la provincia de Córdoba. No es posible generalizar la relación entre el ENSO y los rendimientos a toda una región productiva, por el contrario, la relación depende de la localidad, el período de crecimiento y el tipo de cultivos.

En un estudio realizado en el partido de Pergamino, Buenos Aires, (Letson et al., 2001) reportan que más de la mitad de los agricultores utilizan poco o nada los pronósticos climáticos estacionales. Las dificultades en la interpretación de los pronósticos y la información incompleta sobre cómo afecta este fenómeno a sus cultivos, se señalan como limitaciones en el uso de la información climática. El autor recomendó reducir la escala de información climática en el espacio y el tiempo para que sea valiosa para la toma de decisiones en la granja. Distintos autores sugieren también combinar información del fenómeno ENSO con otros fenómenos oceánicos-atmosféricos de escala estacional, junto a modelos agronómicos de crecimientos de cultivos para generar información valiosa para la toma de decisiones (de la Casa, Ovando, & Díaz, 2021; Rizzo et al, 2022).

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio completan y actualizan la evidencia aportada por otros autores sobre la relación entre el fenómeno ENSO y los rendimientos de los principales cultivos de la región Pampeana. Se identifica una relación significativa entre las frecuencias de valores extremos de rendimientos y las fases del ENSO en la provincia de Buenos Aires. Se destaca en particular una frecuencia relativa de rendimientos extremadamente bajos o muy bajos del 38 y 41%, en campañas clasificadas como segunda La Niña consecutiva, para maíz y soja, respectivamente. Mientras que las frecuencias de rendimientos extremadamente bajos o muy bajos en campañas clasificadas como año neutro o El Niño son entre 0% - 3% para los mismos cultivos.

La capacidad de predecir las fases del ENSO con varios meses de anticipación, y la relación significativa entre este fenómeno y la ocurrencia de niveles extremos de rendimientos de los cultivos genera interés en la utilidad de estos pronósticos en la agricultura pampeana.

El valor agregado de los pronósticos climáticos para la agricultura está dado por el impacto que generen en la toma de decisiones de los productores. Las actitudes de los productores frente al uso de los pronósticos climáticos dependen de la percepción que dispongan sobre la probabilidad de que cambios en la planificación de actividades y prácticas de manejo frente a un determinado pronóstico mejorará el resultado de la campaña, y la valoración de la importancia de este cambio. Distintos factores, incluyendo características de los tomadores de decisiones y de los sistemas productivos, pueden influenciar esta actitud.

Se propone continuar con esta línea de investigación, por un lado, ampliando el análisis a otras provincias, así como mediante estudios sobre el uso actual de pronósticos climáticos estacionales en agricultura. Por otro lado, avanzar en el análisis de resultados esperados de planteos productivos frente a distintos pronósticos climáticos estacionales, para lo cual es necesario contar con otras bases de datos más detalladas y modelos agronómicos de cultivos. Asimismo, en el estudio de la relación entre un pronóstico climático y los resultados esperados, es importante considerar posibles efectos en los precios, ya que estos pueden compensar total o parcialmente a los productores frente a eventos extremos negativos, y generar pérdidas mayores en los consumidores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R. M., Chen, C. C., McCarl, B. A., & Weiher, R. F. (1999). The economic consequences of ENSO events for agriculture. *Climate Research*, 13(3), 165–172. <https://doi.org/10.3354/cr013165>
- Anderson W., Seager R., Baethgen W. & Cane M. (2017). Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño ~ Southern Oscillation, *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, 151–165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>
- Anderson-teixeira, K. J., Snyder, P. K., Twine, T. E., Cuadra, S. V, Costa, M. H., & Delucia, E. H. (2012). Climate-regulation services of natural and agricultural ecoregions of the Americas. *Nature Climate Change*, 2(3), 177–181. <https://doi.org/10.1038/nclimate1346>
- Barros, V. R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I. A., Chidiak, M., Magrín, G. O., & Rusticucci, M. (2015). Climate change in Argentina: Trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(2), 151–169. <https://doi.org/10.1002/wcc.316>
- Ceglar A., Turco M., Toreti A. & Doblas-Reyes F. (2017). Linking crop yield anomalies to large-scale atmospheric circulation in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 240–241, 35–45 <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.019>
- de la Casa, A. C., Ovando, G. G., & Díaz, G. J. (2021). ENSO influence on corn and soybean yields as a base of an early warning system for agriculture in Córdoba, Argentina. *European Journal of Agronomy*, 129(September 2020), 126340. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126340>
- Fernández Long, M. E., Spescha, L., Hurtado, R., & Murphy, G. M. (2011). Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina. *AgriScientia*, 28(1), 31–38. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v28.n1.2778>
- Fong, Y. (2017) “Using the R Package Chngpt.” <https://cran.ms.unimelb.edu.au/web/packages/chngpt/vignettes/chngpt-vignette.pdf>

- Grimm, A. M., Barros, V. R., and Doyle, M. E. (2000). Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events, *J. Climate*, 13, 35–58.
- INDEC (2022) Origen provincial de las exportaciones . Informes Técnicos, 6 (41). [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/opex\\_03\\_22AC291C9FFE.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/opex_03_22AC291C9FFE.pdf)
- Iizumi, T., Luo, J. J., Challinor, A. J., Sakurai, G., Yokozawa, M., Sakuma, H., Yamagata, T. (2014). Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature Communications*, 5(May), 1–7. <https://doi.org/10.1038/ncomms4712>
- Komarek, A. M., De Pinto, A., & Smith, V. H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178, 102738. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>
- Letson, D., Llovet, I., Podestá, G. P., Royce, F., Brescia, V., Lema, D., & Parellada, G. (2001). User perspectives of climate forecasts: crop producers in Pergamino , Argentina, (May 2014). <https://doi.org/10.3354/cr019057>
- Moschini, R., Acuña, M., Alberioni, E., Castellarín, J., Ferraguti, F., Lozza, H. & Martinez, M. (2016). Validación de sistemas de pronóstico del impacto de la Fusariosis de la espiga en cultivos de trigo, *Meteorológica*, (41-1), 37 – 46. <http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2016/07/v41n1a03.pdf>
- Penalba, O. C., Beltran, A., & Messina, C. (2005). Monthly rainfall in central-eastern Argentina and ENSO: a comparative study of rainfall forecast methodologies, *Rev. Bras. Agrometeorologia*, 13, 49–61.
- Rizzo, G., Mazzilli, S. R., Ernst, O., Baethgen, W. E., & Berger, A. G. (2022). Season-specific management strategies for rainfed soybean in the South American Pampas based on a seasonal precipitation forecast. *Agricultural Systems*, 196(September 2021), 103331. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103331>
- Ropelewski, C. F. & Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation, *Mon. Weather Rev.*, 115, 1606–1626.
- Solow, A. R., Adams, R. F., Bryant, K. J., Legler, D. M., Brien, J. J. O., Mccarl, B. A., Weiher, R. (1998). the Value of Improved Enso Prediction. *Climatic Change*, 39(1), 47–60. <https://doi.org/doi.org/10.1023/A:1005342500057>
- Thomasz, E. O., Casparri, M. T., Vilker, A. S., Rondinone, G., & Fusco, M. (2015). Medición Económica De Eventos Climáticos Extremos En El Sector Agrícola: El Caso De La Soja En Argentina. *Revista de Investigación En Modelos Financieros*, 4(2), 30–57. <https://doi.org/2250-6861>
- Thomasz, E. O., Vilker, A. S., & Rondinone, G. (2019). The economic cost of extreme and severe droughts in soybean production in Argentina. *Contaduría y Administración*, 64(1), 1–24. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1422>.
- Trenberth, K. E. & Stepaniak, D. P.(2001). Indices of El Niño evolution, *J. Climate*, 14, 1697–1701. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2)
- WASDE, 2022. World Agriculture Supply and Demand Estimates (Julio 2022) U.S. Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>