

EFECTO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ TEMPRANO EN EL CENTRO OESTE DE ENTRE RÍOS Y POTENCIAL USO PREDICTIVO DE LA SEÑAL ENOS



Pautasso J.M. (1,2), Barbagelata P.A. (1,2), Giacinti S. (3)

1Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
EEA Paraná - Agencia de Extensión Rural Diamante

2Universidad Nacional de Entre Ríos – Facultad de Ciencias Agropecuarias

3Asesor privado

El maíz es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, ya sea como alimento humano y animal o como fuente de productos industriales (Hossain et al.; 2023). Argentina ha experimentado un crecimiento en superficie (MAGyP; 2023), sustentado por la generación, transferencia y adopción de tecnologías adecuadas a la diversidad de nuestros sistemas productivos (García Bernado, 2020).

El rendimiento de los cultivos presenta una importante variabilidad interanual. Para explicar esta variación en rendimiento, Rabbinge (1993) diferencia entre rendimiento potencial, alcanzable y real; donde el rendimiento potencial de una campaña en particular está determinado por factores definitorios (radiación, temperatura, genética), el rendimiento alcanzable es el que puede obtenerse en condiciones de cantidades sub óptimas de factores limitantes (agua y nutrientes) y el rendimiento real es aquel que se obtiene actualmente y está determinado por factores reductores (plagas, enfermedades y malezas). En los tres niveles de rendimiento definidos por el autor se verifica esta variación interanual.

Ray et al. (2015) estudiaron a escala global la variabilidad climática y su efecto en los rendimientos, informando que para Argentina alrededor del 40 % de la variabilidad total del rendimiento de maíz de una campaña a otra se explica por la variabilidad climática interanual. Por otro lado, la brecha que corresponde a limitaciones por nutrientes en Argentina se estima que es del 69 % en maíz (Global Yield Gap and Water Productivity Atlas, 2023).

El impacto de ENOS en la anomalía de rendimiento de los cultivos se puede analizar utilizando diferentes indicadores, como El Índice Niño Oceánico (ONI en inglés) que es una medida de la condición de ENOS y sus fases y consiste en el promedio móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar estimadas a partir del producto ERSST.v5 SST en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), basado en periodos base de 30 años y que se actualizan cada 5 años (Huang et al., 2017).

El ONI se ha convertido en el estándar de facto que utiliza la NOAA (2023) para clasificar los eventos de ENOS. Adicionalmente existen modelos dinámicos con pronósticos a mediano plazo de la condición ENOS con potencialidad de uso para la planificación agrícola (IRI, 2023).

En Argentina una de las variables meteorológicas más estudiadas por el fenómeno ENOS son las lluvias, con un impacto generalizado de El Niño en las lluvias de finales de primavera y principios de verano, hacia lluvias superiores a las normales (De la Casa et al., 2019; ORA, 2011). Esto determinaría mejores condiciones para los cultivos de verano con mayor demanda hídrica, como el maíz de siembra temprana (septiembre).

Este paradigma es más evidente cuando se verifican fases extremas (Otegui et al., 2021) donde el rendimiento aumenta durante la fase húmeda de El Niño y disminuye durante la fase seca de La Niña.

En algunas regiones de la Pampa Húmeda se han publicado modelos sencillos que utilizan la capacidad predictiva de ENOS para estimar el rendimiento de los cultivos de verano y minimizar el riesgo en la toma de decisiones (Melchiori et al., 2022; De la Casa and Díaz, 2021; Bert et al., 2006; Ferreyra et al., 2001).

Los objetivos de este trabajo son: I) relacionar el rendimiento de maíz temprano (siembra de septiembre) en el centro oeste de Entre Ríos con variables meteorológicas y eventos ENOS; II) jerarquizarlas según su impacto en el rendimiento; III) relacionar rendimiento del cultivo de maíz temprano con el índice ONI de ENOS, explorando su potencial uso predictivo.

¿En qué consistió el trabajo?

Los datos de rendimiento de maíz temprano para cada ciclo agrícola (del 2000 al 2022) se obtuvieron de dos fuentes, a) los rendimientos promedio de la base de datos de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (BOLSACER, 2023), ponderando por superficie para la región centro oeste de Entre Ríos los rendimientos alcanzados para los departamentos Paraná, Nogoyá, Diamante y Victoria; b) los rendimientos de maíz sin deficiencia de nutrientes, de información publicada de ensayos de larga duración (Melchiori et al., 2022) y no publicada de ensayos de INTA de la zona; en cada ciclo agrícola con más de un ensayo se promediaron los rendimientos máximos.

Para todas las campañas se definió que el período crítico (PC) del cultivo de maíz transcurre durante el mes de diciembre y la estación de crecimiento (EC) desde la siembra a madurez fisiológica (R6), tomando los meses completos de septiembre a febrero, en base a información publicada por Maltese et al. (2019) para híbridos de maíz de ciclos intermedios y fechas de siembra temprana.

Los datos de temperatura, radiación y lluvias se obtuvieron de la estación meteorológica del INTA EEA Paraná; para lluvias también se usó la información suministrada por la red de centrales meteorológicas de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos, con 5 centrales en Paraná, 4 en Diamante, 4 en Nogoyá y 3 en Victoria.

Se tomó la evapotranspiración de referencia (ET₀) que informa a diario el Observatorio agrometeorológico del INTA EEA Paraná; la estimación de la evapotranspiración máxima (ETM) se realizó a partir de la metodología de cálculo con un coeficiente único del cultivo propuesto por FAO 56 (Allen et al., 2006) y la evapotranspiración en condiciones no estándar o ET real (ETR) se calculó según la metodología propuesta por Della Maggiora et al. (2002).

Tanto para el PC como para la EC el rendimiento de maíz de cada campaña se relacionó con las variables climáticas medidas o estimadas: lluvias, ET₀, ETR y radiación, expresadas de manera acumulada; las variables relacionadas a temperatura como promedio diario y el índice ONI como promedio mensual.

Se utilizaron los datos históricos de eventos ENOS y del indicador ONI del servicio del NOAA (2023). Para definir qué evento se presentó en el ciclo agrícola se tomó la información del "Golden Gate Weather Service" (<https://ggweather.com/enso/oni.htm>), éste sitio además clasifica el evento en diferentes grados o intensidad de ocurrencia (débil, moderado y fuerte).

Para describir y analizar las observaciones multidimensionales medidas o estimadas para cada campaña de maíz y facilitar la interpretación de las interdependencias e interrelaciones se realizaron análisis multivariados. Se utilizaron dos análisis: a) componentes principales (ACP), indicando como variables respuesta las variables de clima y de cultivo y de clasificación a cada campaña; b) de conglomerados, utilizando también como criterio de clasificación cada campaña.

El conjunto de datos se sometió a un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los eventos ENOS sobre el rendimiento de maíz, tanto para los valores promedios como sin limitación por nutrientes. Cuando se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias en el ANOVA, se compararon las mismas con el Test de Tukey al 5 %.

Se modelizaron los balances de agua en el suelo tanto para las campañas con evento El Niño, Neutro y La Niña. Se realizaron según la metodología propuesta por Della Maggiora et al. (2002). Los datos de las constantes hídricas corresponden a un suelo Argiudol vértico (característico de la región bajo estudio) tomando el trabajo de Wilson et al. (2010). Para todas las campañas se fijó que el contenido de agua al inicio del cultivo era del 80 % de la lámina total.

Para las variables lluvias y radiación se realizaron regresiones para evaluar la relación entre estas variables climáticas durante EC y PC con rendimiento de maíz. También se analizó el grado de asociación entre el índice ONI con rendimiento y su potencial uso como predictor del mismo.

¿Qué resultados se obtuvieron?

En los 23 últimos ciclos agrícolas analizados para el Centro Oeste de Entre Ríos, el rendimiento promedio de maíz con limitación por nutrientes alcanzado fue de 6005 kg ha⁻¹ en promedio y el rendimiento promedio sin limitación por nutrientes fue de 8352 kg ha⁻¹, por lo que se identificó una diferencia por nutrientes de alrededor del 40 %. Durante este período se registraron 7 ciclos agrícolas El Niño, 5 Neutros y 11 La Niña.

El análisis multivariado de las variables de clima y cultivo separó claramente los eventos extremos (Niño vs Niña) tal como se informa en la Figura 1.

La Figura 1A, de componentes principales, muestra que primer componente (CP1) explica el 57 % de la variabilidad total y separa los eventos El Niño y La Niña. En general los ciclos agrícolas con evento El Niño están acompañados de mayores ET reales y mayor milimetraje de lluvias y también se verifica un mayor rendimiento del cultivo de maíz.

En cambio, la mayoría de las campañas con evento La Niña poseen una mayor demanda ambiental de agua (ET₀ PC y ET₀ EC), relacionándose también con mayores magnitudes de radiación y mayores temperaturas máximas. Los eventos Neutro no se pudieron asociar claramente con las variables estudiadas. En el análisis de conglomerados (Figura 1B) se observó que, en general, las campañas con La Niña forman un solo grupo y de manera similar las campañas con evento Niño. Las campañas Neutro no forman un conglomerado aparte, y poseen características climáticas que en algunas campañas se asemejan a un Niño y otras a una Niña.

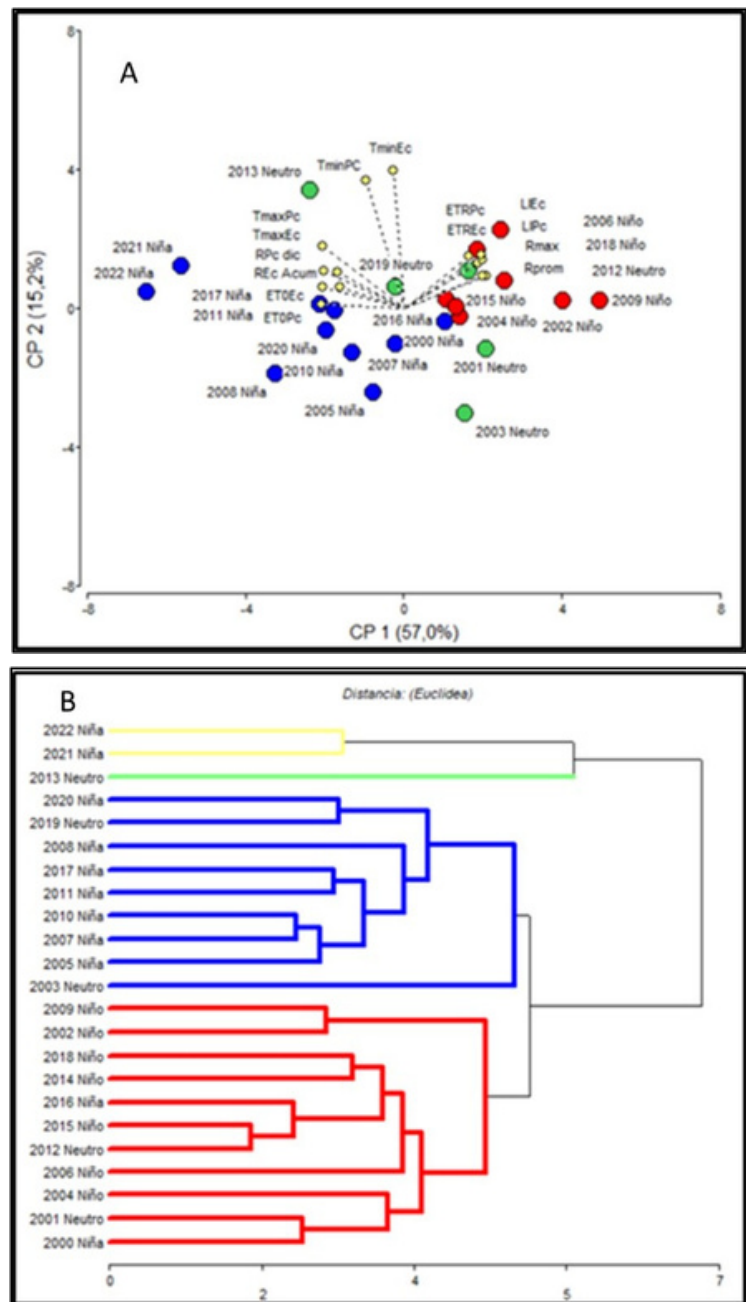


Figura 1. A): Análisis de componentes principales (PCA). Combinaciones de 23 campañas analizadas (círculo rojo para Niño, verde para Neutro y azul para Niña) según variables climáticas y de cultivo. B): Dendrograma con las combinaciones de variables climáticas y del cultivo de 23 campañas analizadas para diferentes campañas.

Tabla 1. Vectores (variables)

Vector	Símbolos
Temperatura máxima durante la EC	TmaxEC
Temperatura máxima durante el PC	TmaxPC
Temperatura mínima durante la EC	TminEC
Temperatura mínima durante el PC	TminPC
ET de referencia durante la EC	ET0EC
ET de referencia durante el PC	ET0PC
ET en condiciones no estándar durante la EC	ETREC
ET en condiciones no estándar durante el PC	ETRPC
Radiación durante la EC	REc
Radiación durante el PC	RPc
Lluvias durante la EC	Llec
Lluvias durante el PC	LIPc
Rendimiento promedio	Rprom
Rendimiento sin limitación nutrientes	Rmax

En la Figura 2 se muestra el efecto de las diferentes fases, definido como evento ENOS (Figura 2A) y según la intensidad de dicho evento (Figura 2B). El rendimiento del cultivo de maíz en el centro oeste de Entre Ríos es mayor cuando se presenta un evento El Niño, rindiendo un 59 % más que los eventos Niña. En una campaña con evento Neutro el rendimiento promedio de maíz no se diferencia de lo observado en El Niño, pero sí de los de La Niña. Considerando la intensidad de los eventos, hay una fuerte tendencia a que Niño débil y moderado son los que presentan las mejores condiciones para que el cultivo de maíz exprese su potencial productivo.

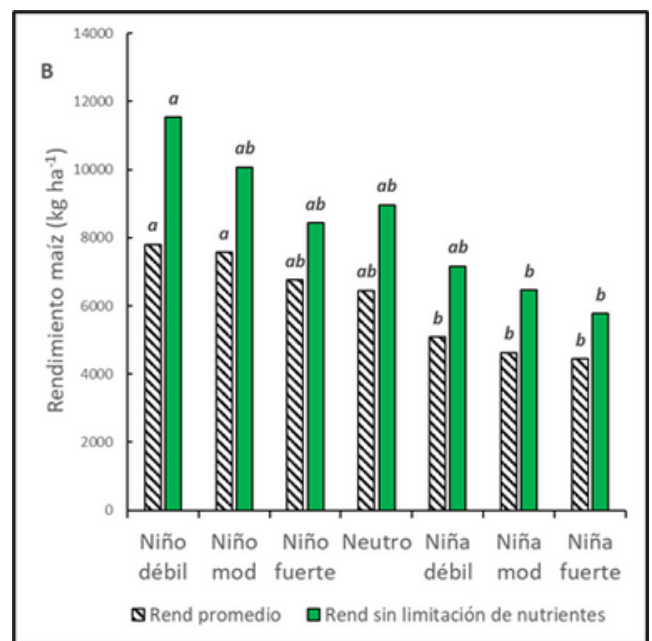
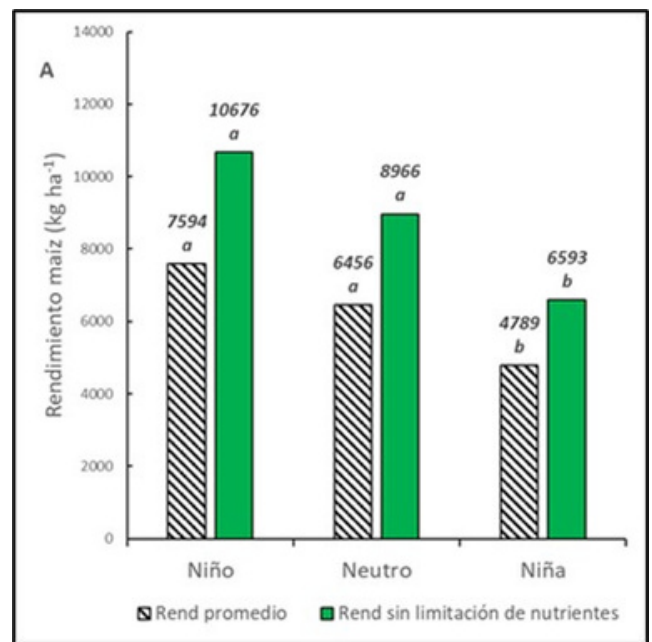
Las variables climáticas que no tuvieron efecto significativo en función de ENOS fueron la temperatura máxima promedio en la EC ($p = 0,08$); temperatura mínima promedio durante la EC ($p = 0,66$); temperatura mínima promedio durante el PC ($p = 0,99$); radiación acumulada durante la EC ($p = 0,28$).

La temperatura máxima y la radiación durante el PC fueron significativamente diferentes según el evento ENOS; las lluvias, tanto durante el PC como durante la EC, fueron mayores en evento Niño frente a una Niña (Tabla 2).

Tabla 2. ANAVA de temperatura máxima, radiación y lluvias en función de ENOS.

Evento ENOS	T. máx. (°C)		Radiación (MJ m ⁻²)		Lluvias (mm)			
	PC	p=0,04	PC	p=0,05	EC	p=0,001	PC	p=0,001
El Niño	29.1	b	708	b	905	a	206	a
Neutro	29.9	ab	761	ab	679	ab	154	ab
La Niña	31,0	a	766	a	538	b	78	b

Para cada variable, medias con una letra común no son significativamente diferentes.

 Figura 2. Rendimiento de maíz en función de: A) Evento ENOS; B) Intensidad del evento. Para una misma categoría de rendimiento, medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).


Para cada evento ENOS, en la Figura 3 (A, B y C) se muestra el balance de agua en el suelo promedio estimado para los ciclos agrícolas analizados.

Mientras que en los ciclos agrícolas donde se pronosticó El Niño, en promedio no hubo déficit hídrico, en los Neutro y La Niña sí, siendo el mismo de 126 mm y 194 mm, respectivamente.

De igual manera Otegui et al. (2021) informan que el grado de estrés hídrico varía a lo largo de los años, siendo mayor durante los correspondientes a la fase seca (La Niña) que durante la fase húmeda (El Niño) del fenómeno ENOS.

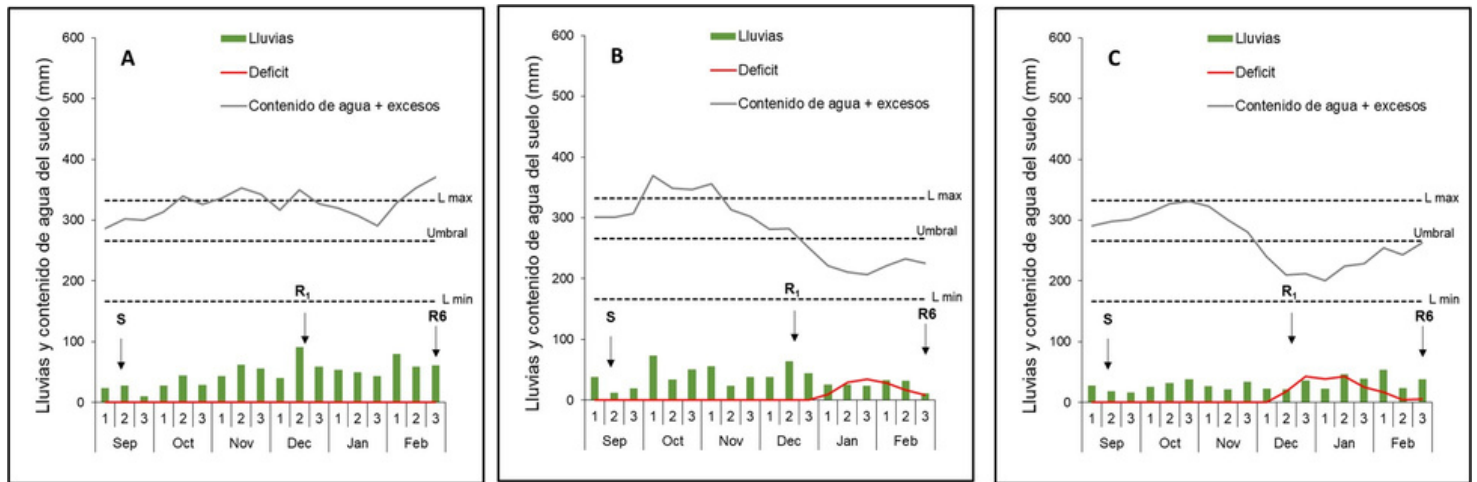


Figura 3. Balance de agua en el suelo en función del evento: A) El Niño; B) Neutro; C) La Niña.

El rendimiento de maíz y la radiación durante el PC presentaron una relación negativa significativa, pero con baja bondad de ajuste ($r^2 = 21\%$; $p < 0,05$).

La relación entre las Lluvias acumuladas durante la EC y el rendimiento de maíz, tanto en situaciones promedio como sin limitación de nutrientes, presentaron un buen ajuste. El ajuste mejora cuando se considera sólo la lluvia acumulada durante diciembre (PC), explicando una mayor parte de la variabilidad de los rendimientos de maíz en el centro oeste de Entre Ríos (Figura 4 A y B).

Estas relaciones sugieren que la principal limitante en la región está relacionada al agua y no a la radiación.

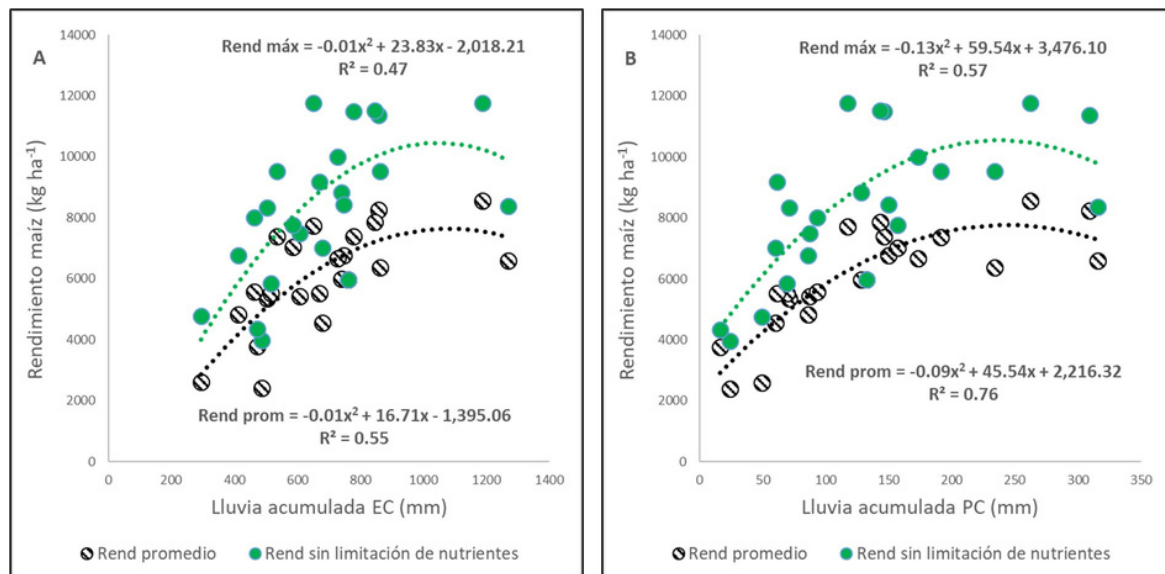


Figura 4. Relación entre las Lluvias acumuladas durante la EC y el rendimiento de maíz, tanto en situaciones promedio como sin limitación de nutrientes.

El índice ONI, promediado durante toda la EC como el registrado durante el PC, tuvo también un ajuste aceptable con el rendimiento logrado (Figura 5 A y B).

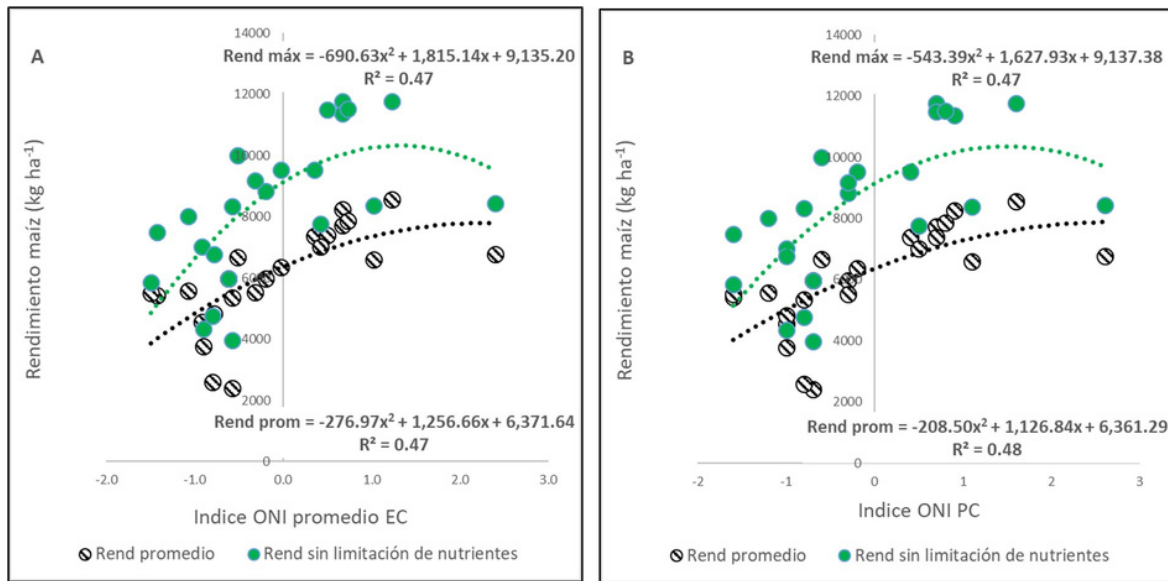


Figura 5. Rendimiento de maíz en función de: A) las lluvias durante la EC; B) durante el PC.

La lluvia acumulada durante el PC del maíz se asoció, con ajustes aceptables, al índice ONI, tal como se puede observar en la Figura 6.

Debido a la estrecha relación encontrada entre este índice en agosto (mes anterior a la siembra del cultivo) y el verificado en diciembre (Figura 7) alienta a su uso como un estimador del rendimiento posible a alcanzar cada campaña.

Melchiori et al. (2022) analizando menos años también encontraron una relación similar entre el índice ONI de diciembre en función del de agosto.

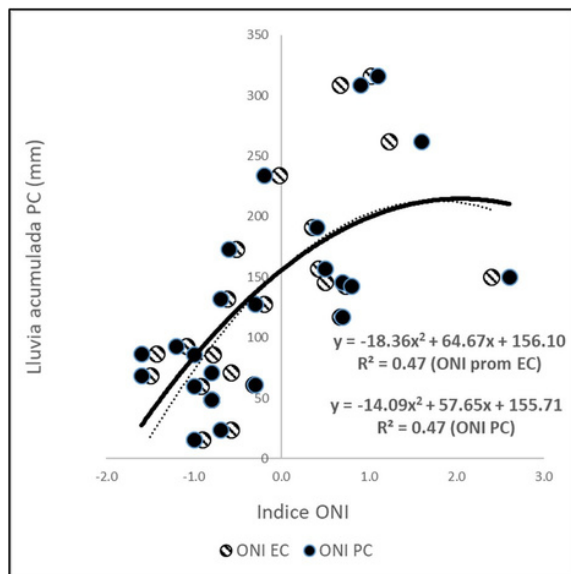


Figura 6. Lluvia acumulada durante diciembre en función del índice ONI.

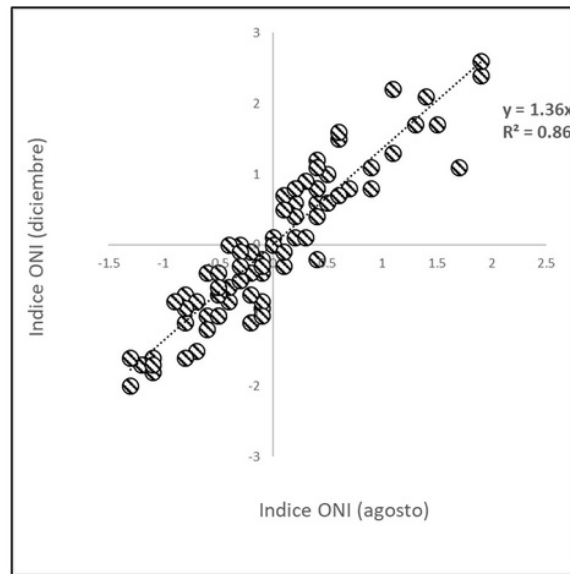


Figura 7. Índice ONI en diciembre en función del mismo índice en agosto. Desde 1950 al 2022.

En síntesis....

El fenómeno ENOS tiene un fuerte impacto en el rendimiento del cultivo de maíz en el centro oeste de Entre Ríos. Eventos ENOS extremos generaron una brecha de alrededor del 60 % en el rendimiento de maíz. Los rendimientos obtenidos sin deficiencia de nutrientes en contraste con los obtenidos en promedio fueron un 40 % superiores, dicha brecha fue similar para todos los eventos.

La variable climática que generó mayor efecto en el rendimiento fue la lluvia, fundamentalmente la acumulada durante diciembre. Los déficits hídricos registrados durante los eventos La Niña condicionan el aprovechamiento de la mayor radiación medida en dichas campañas. El 47 % de la variabilidad de las lluvias, tanto durante la estación de crecimiento como durante el período crítico del cultivo, se explicó por el índice ONI.

Como aporte, el presente estudio permitiría a productores y técnicos anticiparse, utilizando un indicador muy simple, como es ONI al momento de la siembra del cultivo de maíz, lo que permitiría ajustar el paquete tecnológico según un rango de rendimiento esperado.

Para seguir leyendo...

ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D. y M. SMITH 2006. FAO 56: Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Roma, 2006. ISBN 92-5-304219-2

ANDERSON W., SEAGER R., BAETHGEN W. and M. CANE 2017. Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 239, 2017. Pages 151-165. ISSN 0168-1923. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.008>. [Verificación: agosto de 2023].

ANDERSON W., SEAGER R., BAETHGEN W. and CANE M 2018. Trans-Pacific ENSO teleconnections pose a correlated risk to agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 262, 2018, Pages 298-309. ISSN 0168-1923. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.07.023>. [Verificación: agosto de 2023].

BOLSACER 2023. Bolsa de Cereales de ER. Proyecto SIBER. <https://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/estadisticas.php>[Verificación: agosto de 2023].

BARROS V.R., BONINSEGNA J.A., CAMILLONI I.A., CHIDIAC M., MAGRÍN G.O. and M. RUSTICUCCI 2015. Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *WIREs Clim Change* 2015, 6:151–169. doi: 10.1002/wcc.316

BERT F.E., SATORRE E.H., RUIZ TORANZO F. and G. P. PODESTÁ 2006. Climatic information and decision-making in maize crop production systems of the Argentinean Pampas. *Agricultural Systems*. Volume 88, Issues 2–3, 2006, Pages 180-204. ISSN 0308-521X. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.03.007>.

DELLA MAGGIORA A.I., IRIGOYEN A., GARDIOL J.M., CAVIGLIA O. y ECHARTE L. 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 2(2), 167-176.

DE LA CASA A. and G.O. Díaz. 2021. Linking data of ENSO, NDVI-MODIS and crops yield as a base of an early warning system for agriculture in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. Volume 22, 2021, 100480, ISSN 2352-9385, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100480>.

DE LA CASA A.C., G.G. OVANDO and G.L. DÍAZ 2019. Interannual variability of seasonal rainfall in Cordoba, Argentina, evaluated from ENSO and ENSO Modoki signals and verified with MODIS NDVI data. *SN Apl. ciencia* 1, 1624 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1650-6>

ECHEVERRÍA H. y H. SAINZ ROZAS 2015. Nitrógeno. p. 189 - 228. En: Echeverría H. y F. García (Eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.

FERREYRA R.A., PODESTÁ G.P., MESSINA C.D., LETSON D., DARDANELLI J., GUEVARA E. and S. MEIRA 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 107, Issue 3, 2001, Pages 177-192. ISSN 0168-1923. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00240-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00240-9).

GARCÍA B.R. 2020. Impacto del modelo productivo agrario en la industria química argentina en los años recientes (2006-2017). *H-industri@* 26: 85-108. <https://ojs.econ.uba.ar/index.php/H-ind/article/view/1774> [Verificación: agosto de 2023].

GLOBAL YIELD GAP AND WATER PRODUCTIVITY ATLAS 2023. URL disponible: www.yieldgap.org [Verificación: agosto de 2023].

HOSSAIN. F., ZUNJARE R., MUTHUSAMY V., KUMAR A., MADHAVAN J., GOPINATH I., KATRAL A., TALUKDER M., CHHABRA R., CHAND G., BHATT V., GUL I., MISHRA S., DUO H., DUTTA S., GAIN N., CHAUHAN P., MAMAN S., SHASHIDHAR B.R. and R. KASANA 2023. Genetic Improvement of Specialty Corn for Nutritional Quality Traits. S. H. WANI et al. (eds.), *Maize Improvement*, https://doi.org/10.1007/978-3-031-21640-4_11

HUANG B., THORNE P.W., BANZON V.F., BOYER T., CHEPURIN G., LAWRIKORE J.H., MENNE M.J., SMITH T.M., VOSE R.S. and H. ZHANG 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. *American Meteorological Society*. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1.

IPCC 2022. Cambio Climático 2022: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [Pörtner H.O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K. Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A. and B. Rama (eds.)]. Prensa de la Universidad de Cambridge. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., 3056 págs., doi:10.1017/9781009325844.

IRI. 2023. <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/> [Verificación: agosto de 2023].

IRIGOYEN A.I., PANUNZIO MOSCOSO M.P., CAMBARERI M.A., HOLZMAN M.E., ECHARTE L. and R.E. RIVAS 2020. Soil water during the critical period for yield definition of maize in center-southeastern of Buenos Aires. *RADA XI*: 17-32.

MADDONNI G.A., PARCO M. y D.H. ROTILI 2021. Manejo de la estructura del cultivo de maíz en ambientes marginales de argentina. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 41 (2) 90-105, 2021.

MELCHIORI R., MALTESE N., CORRENDO A., NOVELLI L. y O. CAVIGLIA 2022. Cómo decidir la fertilización nitrogenada en maíz en escenarios de incertidumbre. ISSN 0325 – 8874. Serie de Extensión INTA EEA Paraná. MALTESE N., MELCHIORI R.J.M., MADDONNI G.A., FERREIRA M. and O.P. CAVIGLIA 2019. Nitrogen economy of early and late-sown maize crops. *Field Crops Research*; Amsterdam; Año: 2019 vol. 231 p. 40 – 50. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.007>

MAGyP. 2023. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Estimaciones agrícolas. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar> [Verificación: agosto de 2023].

NOAA. AÑO https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php [Verificación: agosto de 2023].

ORA 2011. Oficina de riesgo climático. Impacto de EL NIÑO Y LA NIÑA sobre la precipitación estacional. Disponible en http://www.ora.gob.ar/enso_precipitacion.php [Verificación: agosto de 2023].

OTEGUI M.E., RIGLOS M. and J.L. MERCAU 2021. Genetically modified maize hybrids and delayed sowing reduced drought effects across a rainfall gradient in temperate Argentina. *Journal of Experimental Botany*, volumen 72, número 14, 10 de julio de 2021, páginas 5180–5188, <https://doi.org/10.1093/jxb/erab139>

RABBINGE R. 1993. The Ecological Background in Food Production. In Crop Protection and Sustainable Agriculture. John Wiley and Sons. Symp. 177, Chicester (págs. 2 a 29).

RAY D., GERBER J., MACDONALD G. and P. WEST 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. Nat. Commun. 6:5989 doi: 10.1038/ncomms6989

ROSSINI M.A., MADDONNI G.A. and M.E. OTEGUI 2016. Multiple abiotic stresses on maize grain yield determination: additive vs multiplicative effects. Field Crops Research; Amsterdam; Año: 2016 vol. 198 p. 280 – 289.

WILSON M., OSZUST J., SASAL M.C., SCHULZ G., GVOZDENOVICH J. y C. PIOTO 2010. Muestreador columnar de suelos. Alternativas de uso con fines edafológicos. 1.- densidad aparente y agua útil. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En: Rosario – Argentina.

Para más información:
pautasso.juan@inta.gob.ar