

ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y FENÓMENO ENOS, ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN SANTA FE (ARGENTINA)

Silvia Rafaelli, María Rosana Mazzón y María José Müller

Instituto Nacional del Agua, Argentina
srafaelli@ina.gob.ar rmazzon@ina.gob.ar majo_muller@hotmail.com

RESUMEN:

El presente trabajo brinda un análisis de la información histórica relacionando disponibilidad hídrica y fenómeno ENOS (El Niño-La Niña) asociado al rendimiento del cultivo soja –de primera– en la provincia de Santa Fe en Argentina.

Se determina en primer lugar relaciones entre la disponibilidad hídrica (considerando el agua útil en el suelo durante el período crítico del cultivo) y el fenómeno ENOS. Para campañas en períodos Niño se verifica disponibilidad de agua útil por encima del promedio y viceversa para campañas en períodos Niña. Por otra parte se determinan relaciones entre rendimiento relacionados al fenómeno ENSO. Para campañas en años Niño se verifican rendimientos por encima de la media y viceversa para períodos Niña, en particular para el norte de la provincia. Si bien las mencionadas relaciones se cumplen de manera significativa, se han identificado situaciones atípicas donde se infiere la influencia de otros factores tales como oportunidad de agua útil en los momentos críticos para el cultivo, tipo de suelo, nivel de la freática, escurrimiento superficial proveniente de otras zonas y/o singularidades de los eventos meteorológicos de escala sub-estacional, entre otros.

Los avances científicos obtenidos en este proyecto están dirigidos a brindar mayor conocimiento sobre la respuesta del sistema natural al productor agropecuario e información en tiempo real disponible sobre el tema. Los resultados obtenidos se comunicarán de forma accesible a los usuarios mediante un espacio virtual de consulta para facilitar la toma de decisiones.

ABSTRACT:

This paper provides an analysis of historical information relating water availability and ENSO phenomenon (El Niño - La Niña) associated with crop yields –soybeans– in Santa Fe province in Argentina.

Relations between water availability (considering available water in the soil profile during the critical period of the crop) and the ENSO phenomenon are determined at first. For campaigns during El Niño period, water availability is verified above the average and vice versa for campaigns in La Niña period. Relations between crop yields and ENSO phenomenon are also determined. For campaigns during El Niño period, crop yields above the average are verified, and vice versa for La Niña periods in particular for the northern area of the province. Although the aforementioned patterns are significantly fulfilled, atypical situations have been identified where the influence of other factors is inferred, such as water availability during critical moments for the crop, type of soil, water table levels, upstream surface runoff and/or singularities of meteorological event at sub-seasonal scale, among others.

The scientific results obtained in this project will provide knowledge about the response of the natural system and real-time information to farmers. The obtained results will be reported in an accessible way to users through Internet to facilitate decision-making.

PALABRAS CLAVES: Disponibilidad hídrica. ENSO-ENOS. Rendimiento de cultivos.

INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria en el marco de la seguridad alimentaria es un eslabón clave para el desarrollo económico y social ambientalmente sostenible de los pueblos.

En Argentina y asociado principalmente a cultivos de secano, la decisión de siembra es actualmente responsabilidad del productor que realiza la inversión y que utiliza como información de base los pronósticos meteorológicos y los precios del mercado.

Son los organismos científicos y técnicos quienes pueden desarrollar actividades de I+D aplicada, orientadas a brindar mejores herramientas de apoyo a la toma de decisiones para estos sectores productivos.

En este sentido, el presente trabajo genera un análisis de la información histórica relacionando disponibilidad hídrica y fenómeno ENOS (El Niño - La Niña) para asociarlos a rendimiento de los cultivos, con vistas a brindar mayor información para los usuarios que deben definir su actividad productiva futura.

ÁREA DE TRABAJO Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

El trabajo se realiza en la Provincia de Santa Fe en Argentina. Este territorio es una extensa llanura con leve inclinación noroeste-sureste. Su altura sobre el nivel del mar oscila entre 10 m y 145 m aproximadamente. Las mayores alturas se encuentran en el oeste, especialmente en su zona central y sur. Se puede observar una pendiente descendente de oeste a este, tal que, considerando su extensión en tal sentido, la variación del relieve se aproxima a 30 cm por km en el oeste, y a 15 cm por Km en la zona este de bajos propiamente dichos. Más allá de las características uniformes del relieve, cada región presenta marcadas diferencias en lo que a calidad y tipo de tierra, posibilidad de evacuación de excedentes hídricos, volumen y calidad de aguas subterráneas, flora y fauna se refiere. La provincia se extiende en la zona templada, salvo áreas septentrionales menores de clima subtropical con estación seca (noroeste) y sin estación seca (noreste).

Para realizar el análisis de la disponibilidad hídrica se dispone de datos en 10 estaciones meteorológicas de las cuales 6 corresponden al Servicio Meteorológico Nacional –SMN- (Ceres, Reconquista, Sauce Viejo, Rosario, El Trébol y Venado Tuerto) y 4 al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria -INTA- (Rafaela, Reconquista, Oliveros y Marcos Juárez). En la Figura 1 se presentan las precipitaciones medias mensuales en las 6 estaciones con datos del SMN, considerando la información disponible en el período 1971-2019.

Se utiliza también el balance hídrico expresado en forma simple por la diferencia entre la Precipitación media (P) y la Evapotranspiración potencial media (ETP) como un primer indicador para analizar la disponibilidad de agua superficial y su variabilidad temporal y espacial a nivel de la Cuenca. Existe variada información sobre el tema y en particular citaremos tres referencias de interés para el presente trabajo: Balance hídrico de la Cuenca del Plata, Balance Hídrico de la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) y Balance Hídrico del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El SMN facilitó los resultados del balance diario desde el año 1981 hasta el 2021, donde se detallan precipitación PP (mm), evapotranspiración potencial ETP (mm), evapotranspiración real ETR (mm), almacenamiento ALM (mm), déficit DEF (mm), excesos EXC (mm), agua total disponible AT (%) y agua total útil AU (%) en sus estaciones meteorológicas. El AU es calculada en función de variables meteorológicas y características del suelo. En la Figura 2 se presentan los datos anuales (calculados con medias mensuales) de agua útil en las estaciones del SMN para el período de análisis coincidente a datos de rendimientos para las campañas 2000/01 a 2019/2020, utilizando la fenología del cultivo analizado (soja de primera).

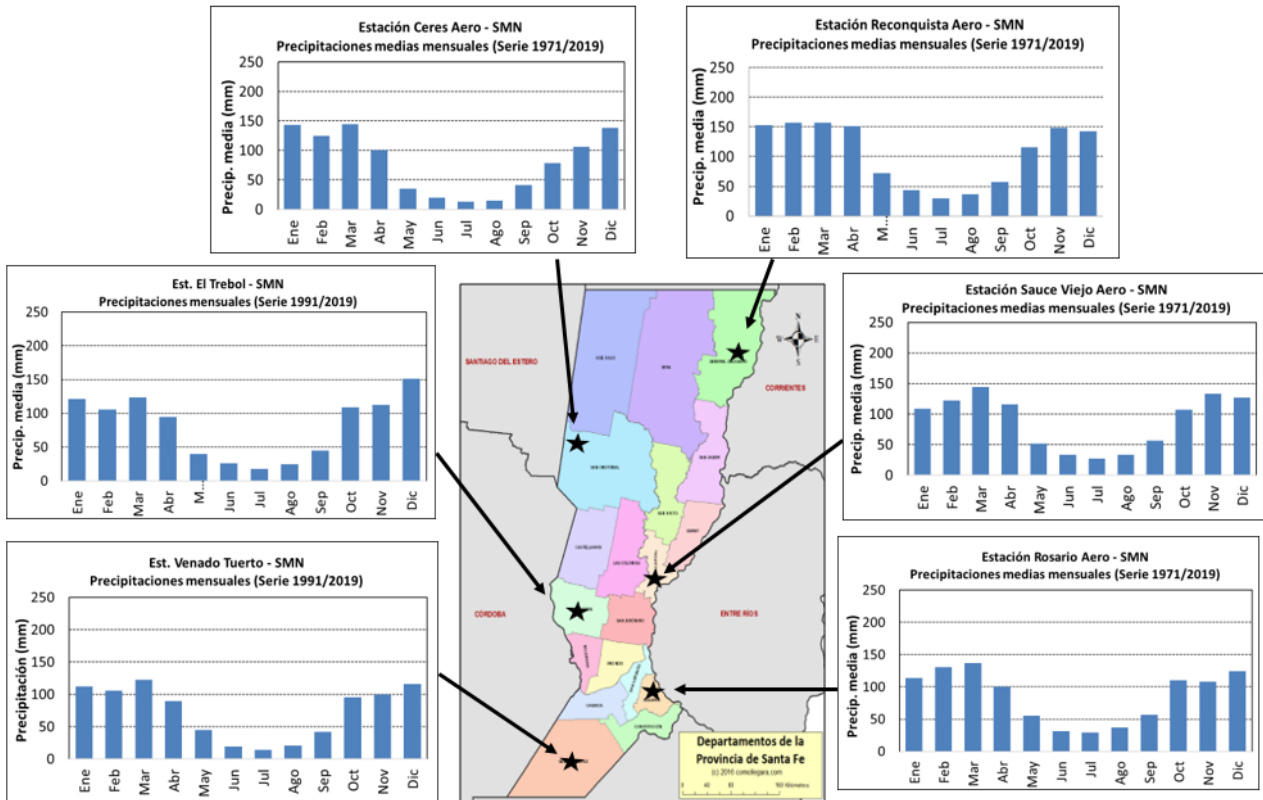


Figura 1.- Precipitaciones medias mensuales de las estaciones del SMN

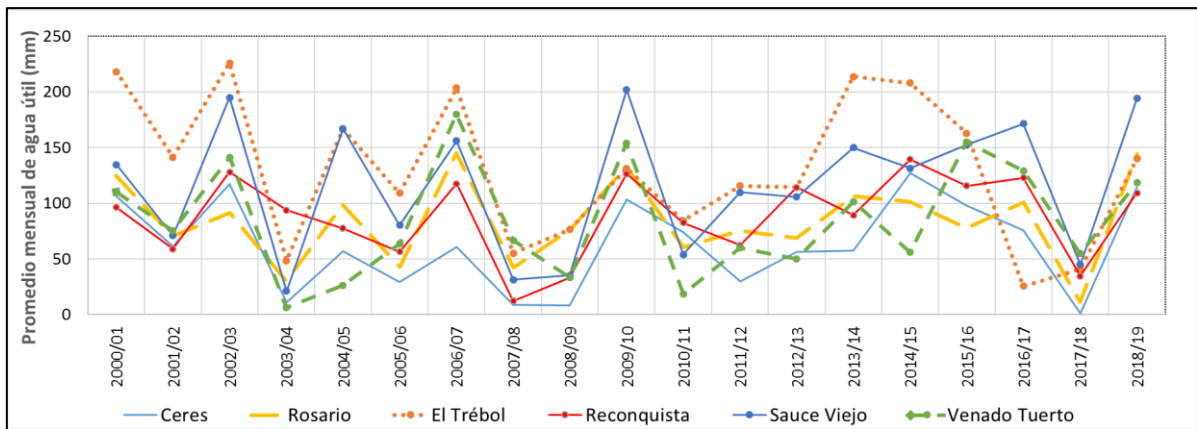


Figura 2.- Agua Útil calculada a partir del Balance Hídrico del SMN. Serie 2000–2019

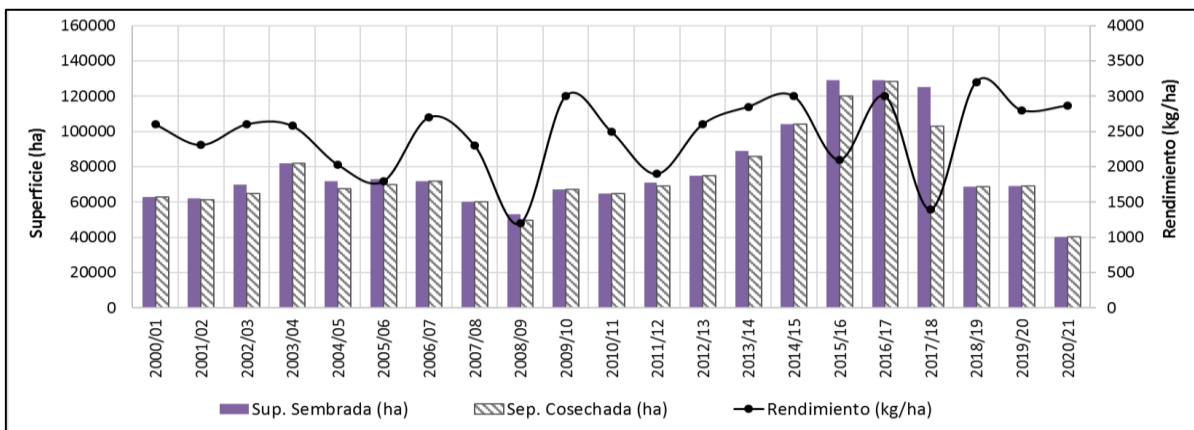


Figura 3.- Superficie sembrada, cosechada y rendimiento. Departamento San Cristóbal

Otro dato utilizado en este trabajo es el Índice Oceánico de El Niño (ONI en inglés) como indicador que la NOAA utiliza para identificar eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) en el océano Pacífico tropical, enmarcados como fenómeno ENOS. Se calcula como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar para la región El Niño 3.4, es decir la franja comprendida entre 5°N-5°S y 120°-170°W. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

La información de cultivos (superficie sembrada, cosechada, producción y rendimientos a nivel departamental) se obtiene del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP). En la Figura 3 se incluyen a modo de ejemplo los datos anuales de superficie sembrada, cosechada y rendimiento para el Departamento San Cristóbal que luego será asociado a las Estación Meteorológica de Ceres.

También se utiliza el calendario fenológico de los principales cultivos para los cuales se realiza el monitoreo de las reservas de agua en el suelo desde la ORA del mencionado Ministerio. Para cada cultivo y región se ha establecido un calendario diferente, el cual se inicia en las fechas de siembra más representativas para cada zona -usualmente una fecha de siembra temprana- y otra de siembra tardía. Cada cultivo presenta un nivel particular de consumo de agua en cada una de sus etapas fenológicas, lo cual determina que frente a las mismas condiciones meteorológicas la disponibilidad hídrica resulte diferente en cada caso. Además, es necesario identificar cuáles son las etapas fenológicas de mayor susceptibilidad a déficit hídrico o excesos hídricos, por ser éstos los periodos más determinantes de pérdidas de rendimiento. Es necesario entonces conocer el requerimiento hídrico de cada cultivo particular a lo largo de su ciclo, con respecto al consumo de una pradera de referencia. En este sentido se distinguen regiones con igual fenología. En el caso de la Provincia de Santa Fe, se identifican 3 zonas de interés (NEA, RAFA y PERGA). En la Figura 4 se presenta el mapa relacionado a la soja de primera, destacando los períodos críticos para cada zona de interés.

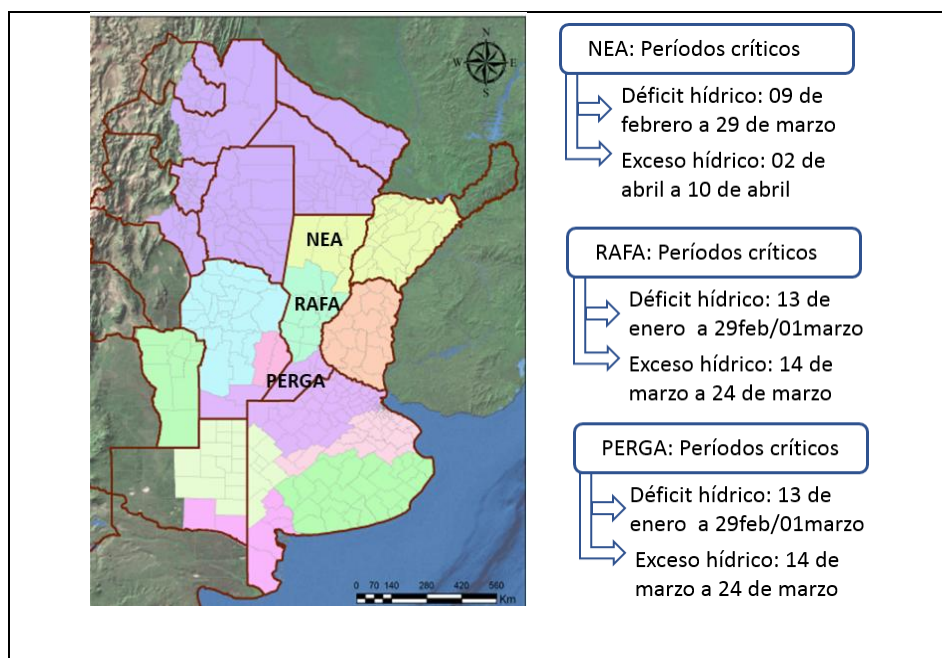


Figura 4.- Regiones con igual fenología promedio
Períodos críticos para soja de primera

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

ENOS y Precipitación

Se realiza un primer análisis exploratorio de datos (Figura 5) y se visualiza la cantidad de meses con eventos “La Niña, El Niño y Neutro” para el período de análisis entre los años 1971 a 2019, con mayor número de “La Niña y El Niño” en enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre.

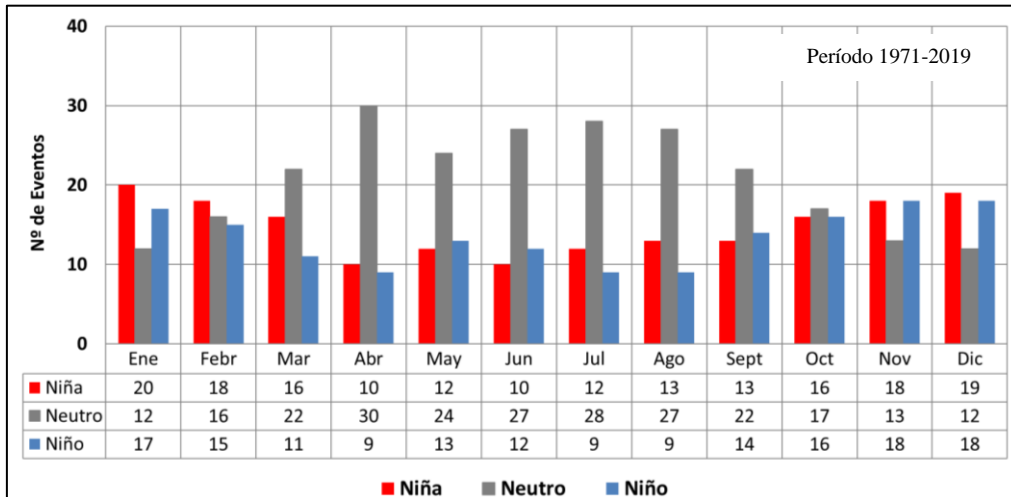


Figura 5.- Cantidad de eventos La Niña, El Niño y Neutro en la serie de datos del fenómeno ENOS

A continuación, se analizan los datos de precipitaciones medias mensuales de toda la serie histórica (1971-2019) y las precipitaciones medias mensuales para los años identificados con Niña, Niño o Neutro en todas las estaciones disponibles. En la Figura 6 se presenta como ejemplo la información para la estación de Ceres en el Departamento San Cristobal.

Se identificó en todas las estaciones, para los meses de noviembre y diciembre que: (1) las precipitaciones de las series de eventos La Niña, están por debajo de la media mensual histórica, (2) las precipitaciones de la serie de eventos El Niño, están por encima de la media mensual histórica. En estos meses las precipitaciones entre El Niño y La Niña presentan mayor diferencia en las estaciones de Ceres, Reconquista, Rafaela, Sauce Viejo y El Trébol. En el resto de los meses de mayores precipitaciones (octubre, enero, febrero y marzo), se mantienen en general los patrones identificados en noviembre y diciembre.

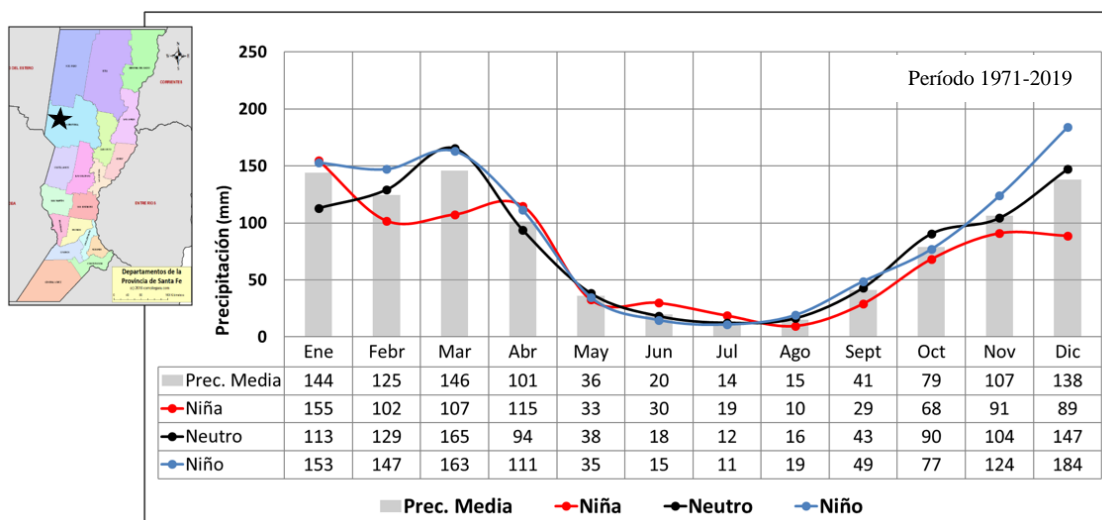


Figura 6.- Media mensual de la precipitación de eventos La Niña, El Niño, Neutro en Ceres

Balance Hídrico, Rendimiento de Cultivo y ENOS

El análisis considera: (1) dos indicadores de disponibilidad hídrica: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial (P-ETP) y Agua Útil (AU), que surgen del balance hídrico del SMN; (2) datos de rendimientos de soja de primera a nivel departamental para las 19 campañas entre 2000/01 y 2018/19, en las 6 estaciones meteorológicas donde se disponen datos y resultados del balance hídrico (Ceres, Reconquista, El Trébol, Sauce Viejo, Rosario y Venado Tuerto); (3) la relación de los indicadores con el rendimiento del cultivo seleccionado y el fenómeno ENOS durante los meses de campaña.

Se identifican 7 años La Niña (2000/01, 2005/06, 2007/08, 2008/09, 2010/11, 2011/12 y 2017/18), 7 años El Niño (2002/03, 2004/05, 2006/07, 2009/10, 2014/15, 2015/16 y 2018/19) y 5 años Neutros (2001/02, 2003/04, 2012/13, 2013/14 y 2016/17). En la Figura 7 se presenta a modo de ejemplo las series de agua útil para el período crítico y rendimientos de soja de primera para la estación de Ceres en el Departamento San Cristobal.

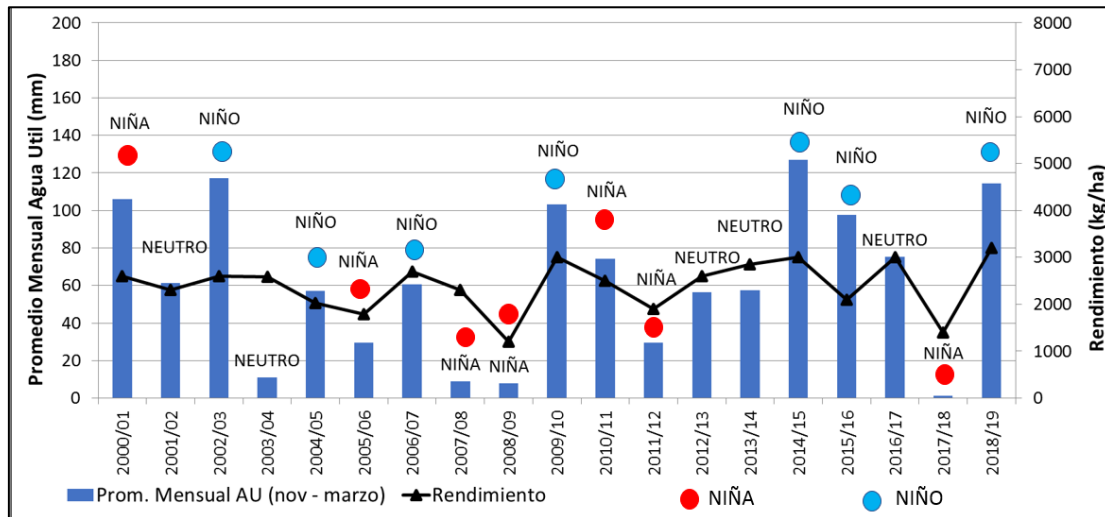


Figura 7.- Promedio mensual de agua útil (Ceres) versus rendimiento de soja (Depto. San Cristóbal)

Para consolidar la relación entre las variables analizadas, se adoptan valores umbrales de referencia calculando las medias de la serie de datos de disponibilidad hídrica (para el período fenológico del cultivo) y del rendimiento de la cosecha. El período fenológico es diciembre-abril para Reconquista y noviembre-marzo para el resto de las estaciones, según descripto oportunamente y sintetizado en Figura 4. Se evalúa la disponibilidad hídrica (AU) y el rendimiento por encima o por debajo del umbral definido. Además se distinguen los años El Niño, La Niña y Neutro.

Con esta información se construyen tablas y gráficos de referencia para el análisis. En las Tablas 1a y 1b se visualiza el análisis realizado para años La Niña y El Niño respectivamente.

La información también se representa -para cada estación- como gráficos cartesianos considerando como ejes el agua útil y el rendimiento y resaltando los umbrales definidos por los promedios respectivos. En la Figura 8 se incluye a modo de ejemplo el gráfico con detalle en la estación Ceres ubicada en el Departamento San Cristóbal.

Tabla 1a.- Identificación -para años La Niña- de relaciones de agua útil y rendimiento por encima y por debajo de los respectivos promedios

















































































































































































Departamento	Estación	Años La NIÑA						
		2000/01	2005/06	2007/08	2008/09	2010/11	2011/12	2017/18
Relación con Agua Útil (AU)								
 <i>Por encima del promedio de AU</i>				 <i>Por debajo del promedio de AU</i>				
San Cristóbal	Ceres							
Gral. Obligado	Reconquista							
San Martín	El Trébol							
La Capital	Sauce Viejo							
Rosario	Rosario							
Gral. López	Venado Tuerto							
Relación con Rendimientos								
 <i>Por encima del rendimiento promedio</i>				 <i>Por debajo del rendimiento promedio</i>				
San Cristóbal	Ceres							
Gral. Obligado	Reconquista							
San Martín	El Trébol							
La Capital	Sauce Viejo							
Rosario	Rosario							
Gral. López	Venado Tuerto							

Tabla 1b.- Identificación -para años El Niño- de relaciones de agua útil y rendimiento por encima y por debajo de los respectivos promedios

Departamento	Estación	Años El NIÑO						
		2002/03	2004/05	2006/07	2009/10	2014/15	2015/16	2018/19
Relación con Agua Útil (AU)								
 <i>Por encima del promedio de AU</i>				 <i>Por debajo del promedio de AU</i>				
San Cristóbal	Ceres							
Gral. Obligado	Reconquista							
San Martín	El Trébol							
La Capital	Sauce Viejo							
Rosario	Rosario							
Gral. López	Venado Tuerto							
Relación con Rendimientos								
 <i>Por encima del rendimiento promedio</i>				 <i>Por debajo del rendimiento promedio</i>				
San Cristóbal	Ceres							
Gral. Obligado	Reconquista							
San Martín	El Trébol							
La Capital	Sauce Viejo							
Rosario	Rosario							
Gral. López	Venado Tuerto							

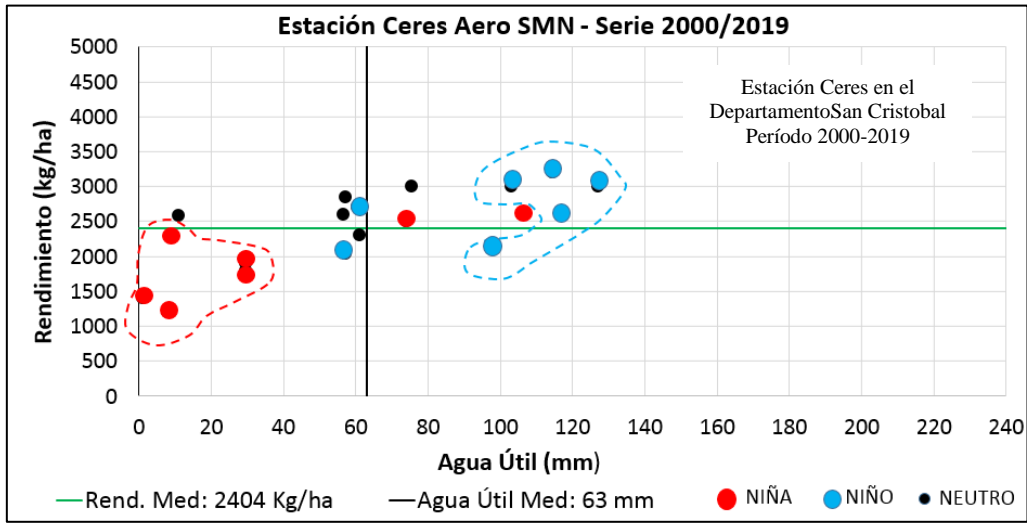


Figura 8.- Relación entre agua útil versus rendimiento de soja y fenómeno ENOS Estación Ceres en Departamento San Cristóbal

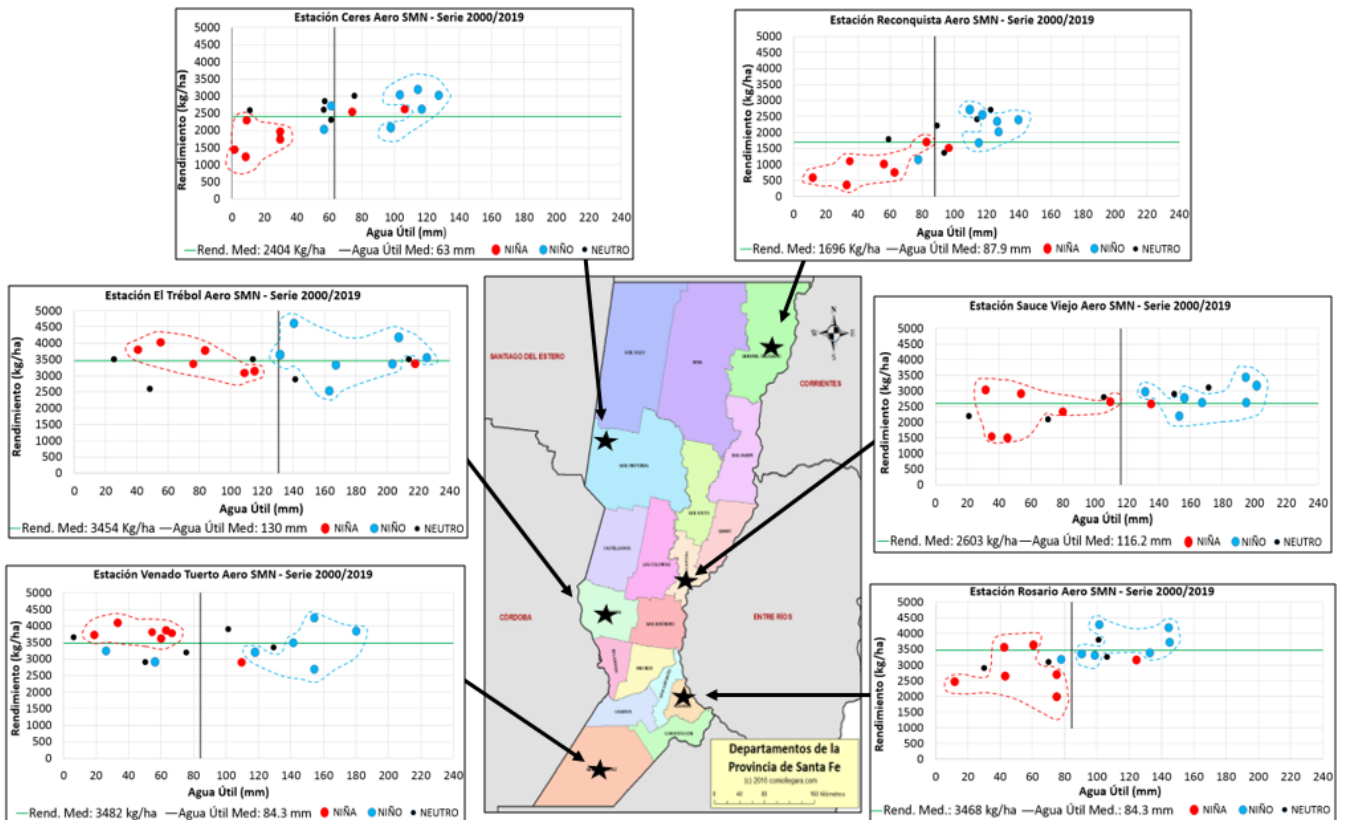


Figura 9.- Relación entre agua útil versus rendimiento de soja y fenómeno ENOS

A partir de este procesamiento de información, se identificaron relaciones entre disponibilidad hídrica (AU) y producción-rendimiento asociadas al fenómeno ENOS, detalladas sintéticamente a continuación:

Disponibilidad Hídrica (AU) y ENOS:

- Años con La Niña: *“agua útil para cada campaña menor que el promedio de agua útil”*. En 6 de las 6 estaciones se registraron valores de agua útil por debajo del umbral en por lo menos 5 campañas del total de 7 campañas con eventos Niña. En 6 de las 7 campañas con años Niña se registraron valores de agua útil por debajo del umbral en por lo menos 5 estaciones del total de 6 estaciones; no cumplió esta relación durante la campaña 2000/2001.
- Años con El Niño *“agua útil para cada campaña mayor que el promedio de agua útil”*: En 6 de las 6 estaciones se registraron valores de agua útil por encima del umbral en por lo menos 5 campañas del total de 7 campañas con eventos Niño. En 6 de las 7 campañas con años Niño se registraron valores de agua útil por encima del umbral en por lo menos 5 estaciones del total de 6 estaciones. En la campaña 2004/2005 el 50% de las estaciones está por encima del umbral y el otro 50% por debajo.

Rendimiento y ENOS:

- Años con La Niña *“rendimiento en cada campaña menor que el promedio del rendimiento”*: En 5 de las 6 estaciones ocurrieron rendimientos por debajo del umbral en por lo menos 4 campañas del total de 7 campañas con eventos Niña. En 5 de las 7 campañas con eventos Niño ocurrieron rendimientos por debajo del umbral en por lo menos 4 estaciones del total de 6 estaciones. Esta relación no se cumple en Venado Tuerto.
- Años con El Niño *“rendimiento en cada campaña mayor que el promedio del rendimiento”*: En 5 de las 6 estaciones ocurrieron rendimientos por encima del umbral en por lo menos 4 campañas del total de 7 campañas con Niños. En 5 de las 7 campañas con años Niños ocurrieron rendimientos por encima del umbral en por lo menos 4 estaciones del total de 6 estaciones. No se cumple en Venado Tuerto.

CONCLUSIONES

Se han verificado las relaciones entre disponibilidad hídrica y rendimiento asociadas al fenómeno ENOS, presentadas sintéticamente en la Tabla 2.

Tabla 2.- Relaciones entre disponibilidad hídrica y rendimiento asociados al fenómeno ENOS

Disponibilidad Hídrica (AU) y ENOS	
Años con fenómeno La Niña	<i>“agua útil para cada campaña menor que el promedio de agua útil”</i>
Años con fenómeno El Niño	<i>“agua útil para cada campaña mayor que el promedio de agua útil”</i>
Rendimiento y ENOS:	
Años con fenómeno La Niña	<i>“rendimiento en cada campaña menor que el promedio del rendimiento”</i>
Años con fenómeno El Niño	<i>“rendimiento en cada campaña mayor que el promedio del rendimiento”</i>

Se han determinado en primer lugar relaciones entre disponibilidad hídrica (considerando el agua útil en el suelo durante el período crítico del cultivo) y el fenómeno ENOS; para campañas en períodos Niño se verifica disponibilidad de agua útil por encima del promedio y viceversas para campañas en períodos Niña. Por otra parte se ha determinado relaciones entre rendimiento y fenómeno ENSO; para campañas en períodos Niño se verifican rendimientos por encima de la media y viceversas para períodos Niña particularmente en el norte de la provincia.

Si bien las mencionadas relaciones se cumplen de manera significativa, se han identificado situaciones/años atípicos donde la variación del agua útil es mayor que la media, pero el rendimiento resulta por debajo de su media y viceversa. Estas situaciones permiten inferir que en la relación AU y rendimiento intervienen otros factores tales como la oportunidad de AU en los momentos críticos para el cultivo, el tipo de suelo con mayor o menor capacidad de retención, los niveles freáticos, escurrimiento superficial desde otras zonas, entre otros. Por otra parte, al trabajar con valores de AU mensuales y rendimientos a nivel de departamentos, los resultados reflejan relaciones medias y opacan las situaciones particulares que requieren de mayor definición espacial y temporal.

Evaluando en detalle la relación de AU y años “La Niña – El Niño – Neutro”, también se identificaron situaciones particulares que no responde a los patrones esperados, donde se verifican años La Niña con altos valores de AU y años El Niño con bajos valores de AU. En estos casos podría considerarse la necesidad de sumar al análisis otros forzantes meteorológicos, como podrían ser singularidades de los eventos de escala sub-estacional o del anticiclón semipermanente del Atlántico (Santa Elena), o el calentamiento y enfriamiento superficial de este océano, entre otros.

CONSIDERACIONES FINALES Y PRÓXIMOS PASOS

El trabajo realizado ha permitido verificar relaciones entre disponibilidad hídrica y rendimiento asociados al fenómeno ENOS para el período 2000-01 al 2018-19 que incluyen 19 años de información disponible.

Se han identificado también situaciones/años atípicos donde se infiere la influencia de otros factores quedando abierta futuras líneas de investigación para seguir sumando el análisis de otras variables y así poder brindar mayores certezas al tema de referencia.

Los avances científicos obtenidos en este proyecto deben ahora ser adaptados a un lenguaje más coloquial para poder transmitirlos a los productores e identificar sus necesidades de información en tiempo real y así poder facilitar su toma de decisión para optimizar su producción.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realiza en el marco del Proyecto IO-2019- 284 con financiamiento de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (ASACTEI). Cuenta con el apoyo del Ministerio de la Producción, Ciencia y Tecnología de Santa Fe y del Servicio Meteorológico Nacional, así como la colaboración del INTA (Reconquista, Rafaela y Oliveros) y de la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) del MAGyP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandez-Long, M.E., Hurtado, R.H., Perez S., Spescha L.** (2019) “Balance hidrológico operativo para el agro. Versión estudiantil (BHOAe)” *Revista Agronomía & Ambiente* 39(1), pp 33-44. Buenos Aires. Argentina
- Fernandez-Long, M.E., Spescha L., Barmatán I. y Murphu G.** (2012) “Modelo de Balance Hidrológico Operativo para el Agro (BHOA)”. *Revista Agronomía & Ambiente* 32(1-2), pp 31-47. Buenos Aires. Argentina
- Heinzenknecht G.M.** (2011) “Proyecto “Riesgo y Seguro Agropecuario” – Etapa II. Préstamo BID 899 / OC-AR-1 <http://www.ora.gob.ar/informes/enso.pdf>.
- Heinzenknecht G.M.** (2015) Proyecto “Riesgo y Seguro Agropecuario - Impacto de “El Niño” y “La Niña” sobre las Precipitaciones.
- Righetti, S.A., Spennemann, P., García Skabar, Y., Fernandez-Long, M.E, Bontempi, M.E.** (2021) “Evaluación del modelado de humedad del suelo mediante el sistema HRLDAS”. *Nota Técnica SMN* 2021-88. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1539>.