

Análisis de la variabilidad de la lluvia, la evapotranspiración e índices de vegetación en áreas agrícolas de Entre Ríos

Brizuela A. B.^{1,2}; Aguirre C. A.^{1,2}; Nosetto M. D.^{1,2}; Kemerer A. C.¹; Tóffoli M. B.¹; Kinderknecht L.¹, Bressan M. P.¹ y Befart L.¹

AUTORES: ¹Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos (Oro Verde, Entre Ríos, Argentina),

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

CONTACTO: armando.brizuela@gmail.com

Resumen

Sobre la base de los resultados del proyecto anterior Integración de datos agrometeorológicos, de sensores remotos y de cultivos mediante técnicas de geoinformación y modelos en el Centro-Oeste de Entre Ríos (PICT 06-1221 PIDUNER 2128) y tomando en consideración el efecto de las anomalías en la producción de granos en la provincia de Entre Ríos se hace evidente la necesidad e importancia de llevar adelante estudios que posibiliten una mayor comprensión de la variabilidad de la lluvia, la evapotranspiración e índices de vegetación y las relaciones con la producción. Esta reseña del proyecto se refiere a dos aspectos del mismo: meteorología agrícola y teledetección aplicada. La primera dirigida a mejorar la información agrometeorológica, a conocer la variabilidad espacial y temporal e investigar asociaciones o efectos en los cultivos. La segunda para: estudiar el comportamiento de la reflectividad de los cultivos de maíz, soja y trigo mediante índices, poner a prueba técnicas avanzadas de procesamiento y manejo de datos de satélites de recursos naturales (Landsat, Modis y nuevos satélites). El proyecto pertenece a un área científica con escaso desarrollo en nuestro país y casi nula en la provincia, pero la importancia actual y el carácter prioritario para los años venideros –por el potencial impacto– señalan la necesidad de iniciar y afianzar estas líneas de investigación y formar recursos humanos capaces de conducirlas.

Palabras clave: meteorología agrícola; sensores remotos; cultivos; variabilidad climática

Objetivos propuestos y cumplidos

En esta reseña de actividades del proyecto “Análisis de la variabilidad de la lluvia, la evapotranspiración e índices de vegetación en áreas agrícolas de Entre Ríos” PIDUNER 2161, ejecutado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, se presentan tres líneas de trabajo que se siguieron durante el desarrollo del mismo. Se refiere a estudios sobre humedad de suelo y modelos de simulación, utilización de datos de sensores remotos en recursos agrícolas y seguimiento de precipitación en ocasión de eventos Niño/Niña. Estos tres aspectos dan cuenta de los objetivos iniciales del proyecto así como de los avances logrados.

Marco teórico y metodológico

El proyecto tiene como marco de referencia la conexión entre los nuevos conocimientos de las ciencias meteorológicas orientados a la Agrometeorología particularmente en cuanto a investigación aplicada. Como sostienen Weiss et al. (2000) la información agrometeorológica es parte de un continuo que comienza con el conocimiento y la comprensión científica y finaliza con la evaluación de la información. Se debe considerar que la disponibilidad oportuna y el uso adecuado de la información agrometeorológica son vitales para el éxito de las prácticas agrícolas. Para que esta información se considere un recurso, se debe demostrar que tiene valor para los agricultores, así como para las diversas agencias que brindan apoyo para el desarrollo, la generación y la diseminación de esta información. Los beneficios de la información agrometeorológica deben ser comunicados a una gran cantidad de usuarios potenciales en las comunidades agrícolas, especialmente en los países en desarrollo donde la producción agrícola sea baja y la inseguridad alimentaria sea frecuente.

La usual referencia a los efectos de los eventos meteorológicos extremos en la producción agrícola está sustentada por la magnitud de las pérdidas económicas, por los inconvenientes conexos con la planificación de las prácticas agrícolas y de las oportunidades de comercialización. En este contexto: ¿es adecuada la información que ofrece la agrometeorología a los usuarios? Las herramientas actuales que incluyen modelos locales, modelos climáticos, datos de satélite, de radar y modelos de cultivos, ¿permiten una respuesta detallada y consistente con las necesidades de los usuarios? ¿Se dispone en Entre Ríos de bases de datos apropiados para la toma de decisiones y la planificación del uso de la tierra? La respuesta podría ser “no” o “escasamente” por lo tanto interesa sistematizar los datos disponibles conformando bases de datos regionales y locales, generar o adecuar técnicas o métodos y producir información. De esta forma se facilita la comprensión de la variabilidad de elementos como la lluvia, la evapotranspiración o los índices de vegetación y por lo tanto profundizar el conocimiento de los factores y elementos agro-meteorológicos, su comportamiento con respecto de los valores climáticos y los efectos probables de las anomalías en la producción agrícola local. Asimismo se trata de entender las diferentes condiciones agro-productivas y aportar nuevos elementos a la producción de los cultivos de mayor interés económico de la provincia.

El clima influye en la distribución de los cultivos en diferentes regiones del mundo, así como en la producción de los mismos. De los diversos elementos climáticos que afectan a los cultivos, la temperatura y la lluvia son quizás los más importantes. También el clima es la razón del desarrollo especial de la flora y la fauna en diferentes zonas climáticas de la tierra como se observan en zonas tropicales, templadas y frías (Prasada Rao, 2008). En particular la precipitación en cuanto a régimen, distribución y variabilidad ha sido ampliamente estudiada para nuestro país. Garbarini et al. (2014), Marino (2007) o Vargas et al. (1999) son algunos de los autores que abordaron este tema.

El efecto de la lluvia en modelar la humedad del suelo y por lo tanto del agua disponible para las plantas se mantiene como un tema de relevancia actual para los productores al momento de decidir

acciones o labores agrícolas, para las empresas agro-comerciales y para otros actores institucionales que deben monitorear la producción agrícola. La humedad del suelo y el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo tienen una relación estrecha. En gran medida la humedad del suelo define, a largo plazo, el tipo de vegetación de una zona o región. Las variaciones temporales que experimenta la humedad del suelo son diferentes ya que puede aumentar rápidamente, luego de una lluvia o riego, pero el desecamiento es lento dependiendo de factores como la demanda atmosférica, la temperatura del suelo, el tipo de suelo o el contenido de agua respecto de los estados extremos de suelo, saturado o seco.

El contenido de agua del suelo experimenta variaciones continuas a lo largo del tiempo. Recibe agua de las lluvias o por riego, mientras que la pierde por escorrentía superficial y por drenaje a las capas profundas. A estas pérdidas hay que sumar la evapotranspiración, término en el que se incluyen las pérdidas producidas por la evaporación directa desde la superficie del terreno más el agua evaporada desde la superficie de las plantas o transpiración. Los resultados del Balance Hídrico reflejan la cantidad de agua aportada al suelo por efecto de las lluvias, la que se pierde como consecuencia de la evapotranspiración potencial (ETP) y la humedad disponible en el suelo capaz de cubrir los requerimientos hídricos de los diferentes cultivos establecidos en áreas de influencia de las estaciones consideradas. La evapotranspiración puede ser calculada diariamente usando la ecuación de Penman - Monteith arrojando generalmente resultados precisos. Para la estimación de la misma se requieren algunos datos de estaciones meteorológicas tales como: temperatura del aire, humedad del aire, velocidad del viento a 2 m (u_2), radiación neta diaria, entre otros (Allen Richard, et al., 1998).

En la última década se concretaron avances que posibilitan mejorar las estimaciones de humedad de suelo con mayor grado de representatividad en áreas extensas como la Pampa húmeda argentina. Las mejoras se consiguen al incluir umbrales más exactos en los balances hidrológicos, considerar los distintos tipos de suelo y asimilar datos de evapotranspiración estimada por satélite, entre otras. En el mismo sentido se dispone de nuevos instrumentos para medir la variable "in situ" con lo que además de contar con una estimación más elaborada es posible conocer con mayor precisión la reserva de agua en suelo en el lote o parcela cultivada. En este caso los instrumentos poseen sensores que requieren al menos una verificación experimental siendo aconsejable, en cada lugar, realizar una calibración de los mismos. Este es uno de los aspectos abordados por el proyecto.

Resultados

La cuestión de la humedad de suelo: calibración de sensores y modelos

La humedad de suelo es un parámetro importante para la investigación en agricultura y recursos hídricos, como también en modelos meteorológicos. Existen distintos métodos para evaluar o estimar la humedad de suelo a campo (muestreo gravimétrico, sonda de neutrones, tensiómetros, psicrómetros, etc.). Como todo método indirecto de medición de humedad de suelo necesita de una calibración para mantener la relación entre el contenido volumétrico del suelo y su coeficiente dieléctrico. La forma más correcta, pero laboriosa, de calibrar los sensores es en lugar específico de utilización (Vita Serman et al., 2005).

Según la Organización Internacional de Metrología Legal (VIM, 2013) "calibración" es una operación que, bajo condiciones especificadas, establece en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición asociadas obtenidas a partir de los patrones de medición, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación.

Es ampliamente conocido que el contenido de agua en los suelos agrícolas, en lotes con cultivos, es conveniente utilizar el método gravimétrico para su determinación. Es un método muy utilizado ya que

al tomar muestras de volumen conocido permite establecer la humedad de suelo con gran exactitud. Como desventaja hay que considerar la demanda de tiempo, de mano de obra y esfuerzo en la toma de muestras y ámbito donde procesar las muestras.

Las determinaciones gravimétricas se utilizan para calibrar instrumentos como sonda de neutrones o con sensores capacitivos Curto et al. (2016) exploraron metodologías de calibración de sensores, generando una base de datos de humedad del suelo de alta resolución temporal. Para la calibración utilizaron observaciones gravimétricas, con sonda de neutrones y con sensores capacitivos. Se generaron criterios objetivos para verificar la calidad de los resultados obtenidos, identificando problemas asociados al proceso de medición y cuantificando los errores. Según Vaz et al. (2013) para simplificar la aplicación del sensor, a menudo se proporcionan calibraciones suministradas de fábrica para diferentes tipos de medios porosos, como minerales, orgánicos y suelos salinos, o sustratos sin suelo. Realizaron un estudio para evaluar el rendimiento de ocho sistemas de detección de humedad EM, disponibles en el mercado entre los cuales incluyeron el modelo TDR 100 en siete suelos bien caracterizados y con variaciones texturales.

Los modelos de balance hidrológico, a partir de los cuales se estima la reserva de agua o agua disponible para las plantas, se integran a los modelos de simulación de cultivos con el objeto de relacionar el contenido de agua en el suelo con el rendimiento. El objetivo de uno de estos estudios, que llevaron a cabo Mkhabela y Bullock (2012) fue adaptar y probar la capacidad del modelo AquaCrop desarrollado por la FAO (v3.0) para simular el rendimiento de trigo de primavera y el contenido total de agua del suelo (capa de 0-120 cm) en las praderas canadienses. En el estudio se utilizaron datos de rendimiento de los cultivos y del contenido de agua del suelo recogidos de cinco sitios experimentales en las praderas canadienses de 2003 a 2006.

El interés en aplicar resultados del balance hidrológico está justificado aún en los casos que el cultivo de interés sea más flexible a la disponibilidad de agua. Por ejemplo el sorgo se adapta bien a los climas tropicales, es un cultivo tolerante a la sequía que sobrevive bajo condiciones climáticas adversas y, por lo tanto, a menudo se lo relega a suelos pobres y al manejo de bajos insumos. Se cultiva extensivamente bajo condiciones de secano para la producción de granos y forraje. Se puede lograr una alta producción cuando se aplica suficiente agua y nutrientes, especialmente en las etapas críticas del cultivo (Steduto et al., 2012).

Durante la etapa final del proyecto se puso en funcionamiento operativo para el Campo Roldan de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER) el balance hidrológico aplicando la metodología propuesta por Basualdo (2015) y utilizando los datos meteorológicos de una estación meteorológica instalada en el predio y los datos de suelo del lugar. El seguimiento en el caso de maíz temprano mostró que tanto la reserva de agua superficial, en los primeros 20 cm, como en profundidad (100 cm) disminuye notablemente a valores cercanos al punto de marchitez especialmente en enero del corriente año (Figura 1).

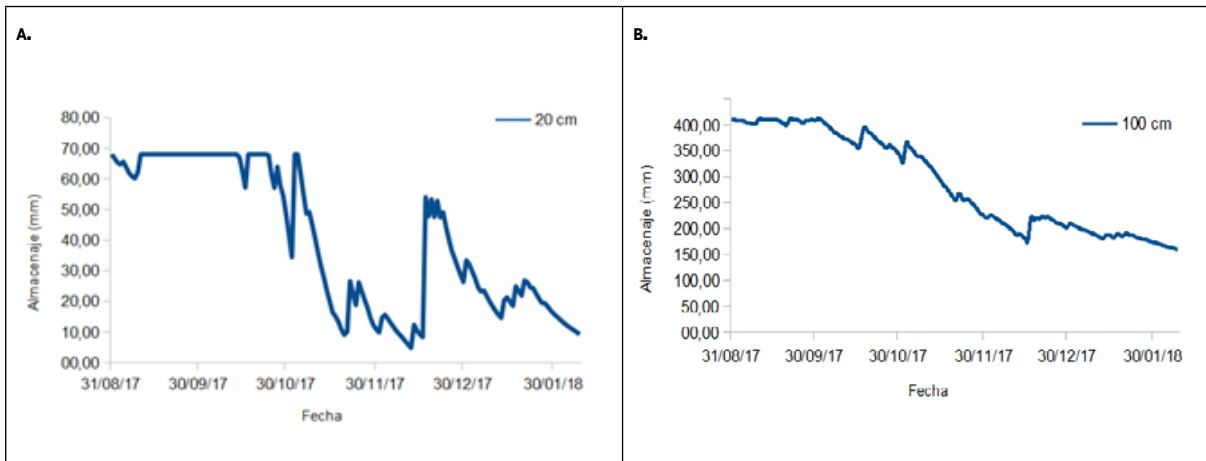


FIGURA 1. Evolución de la reserva de agua en el suelo para maíz de primera en Campo Roldan (FCA UNER) campaña 2017/18. a) Primeros 20 cm y b) Hasta 100 cm de profundidad

Como parte de un proyecto anterior se realizó una primera calibración de sensores de humedad de suelo de estaciones meteorológicas automáticas de la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos, de la FCA UNER y del CICyTTP CONICET. Passadore y Wendler (2011) elaboraron un trabajo final de graduación y presentaron las ecuaciones de ajuste, entre las mediciones de los sensores y las correspondientes determinaciones gravimétricas, para las diferentes profundidades de los sensores, para 9 estaciones de la provincia. A su vez Díaz et al. (2015) propuso la calibración de un modelo hidráulico CLASS U3M 1D utilizando los datos de las estaciones Paraná y Diamante, las cartas de suelo y funciones de edafo-transferencia. Concluyen que el modelo representa adecuadamente las condiciones de humedad del suelo en las estaciones consideradas (especialmente en los niveles superiores) y que puede ayudar en el monitoreo y en el pronóstico del agua almacenada en el suelo. La figura 2 muestra los valores observados y simulados para la localidad de Paraná con sensores a profundidades de 5, 10, 20 y 60 cm.

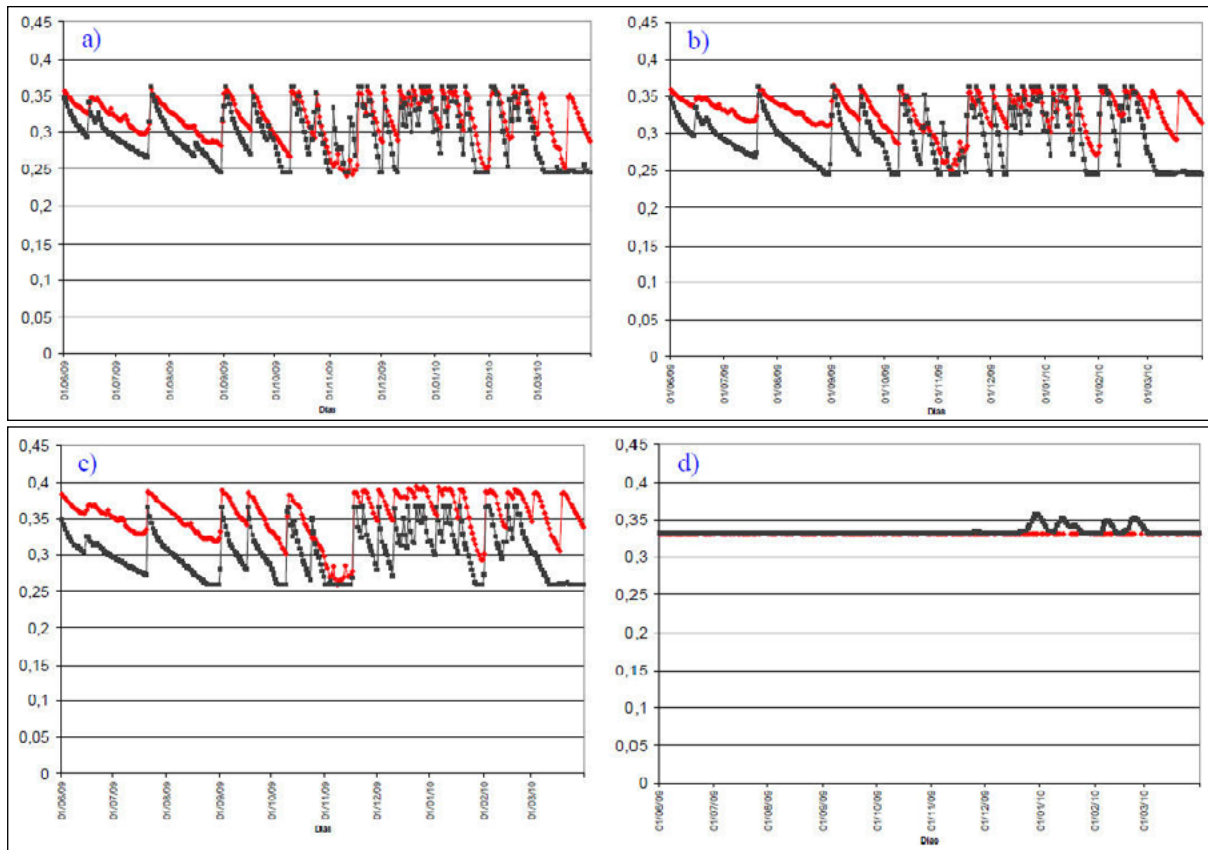


FIGURA 2: Valores observados (rojo) y simulación 3 de CLASS (negro) en Paraná. Período Jun/09 a Mar/10. a) Profundidad de 5 cm. b) Profundidad de 10 cm. c) Profundidad de 20 cm. d) Profundidad de 60 cm. Los valores de humedad del suelo se encuentran expresados en contenido volumétrico (m³/m³)

Teledetección aplicada a recursos agrícolas

Brizuela et al. (2015) analizaron los datos de precipitación estimados por satélite de la misión Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) conjuntamente con mediciones realizadas en seis estaciones meteorológicas, ubicadas en la provincia, durante los años 2010 y 2011. Para cada estación se realizó un análisis de correlación considerando datos diarios de precipitación acumulada en periodos de ocho días y mensuales. Los resultados indicaron que la hipótesis de igualdad de varianzas no se puede rechazar con una confianza del 95% en las muestras que corresponden a las estaciones Concordia, Paraná Inta, San Pedro, Paraná Ciudad y Diamante. Mientras que no se acepta la hipótesis de varianzas iguales para Villaguay. En cuanto al test de medias se encontró que en todos los casos que, con una confianza del 95%, no hay diferencias significativas entre las medias. Las estaciones presentan correlaciones con valores de r entre 0.10 y 0.7 para datos diarios, entre 0.65 y 0.82 para datos acumulados en periodos de ocho días y entre 0.58 y 0.82 para precipitación mensual, todos los coeficientes son significativos al 95% de confianza. Al comparar datos estimados por TRMM 3B42RT con mediciones realizadas por estaciones meteorológicas en Entre Ríos durante 2010 y 2011, se concluye que para valores diarios de precipitación la asociación es baja o media, aunque superior en las estaciones automáticas, a su vez tanto en el caso de acumulada en ocho días como mensual existe una relación moderadamente fuerte que explica un 50% o más de la variabilidad. Sobre la base de estos resultados es posible considerar el uso de los datos TRMM, en el sector agrícola, ya que las estimaciones de precipitación en periodos de ocho días contie-

nen información útil para un seguimiento aproximado de las condiciones hídricas de los cultivos. En la Figura 3 se muestra el resultado del análisis de regresión para la estación San Pedro.

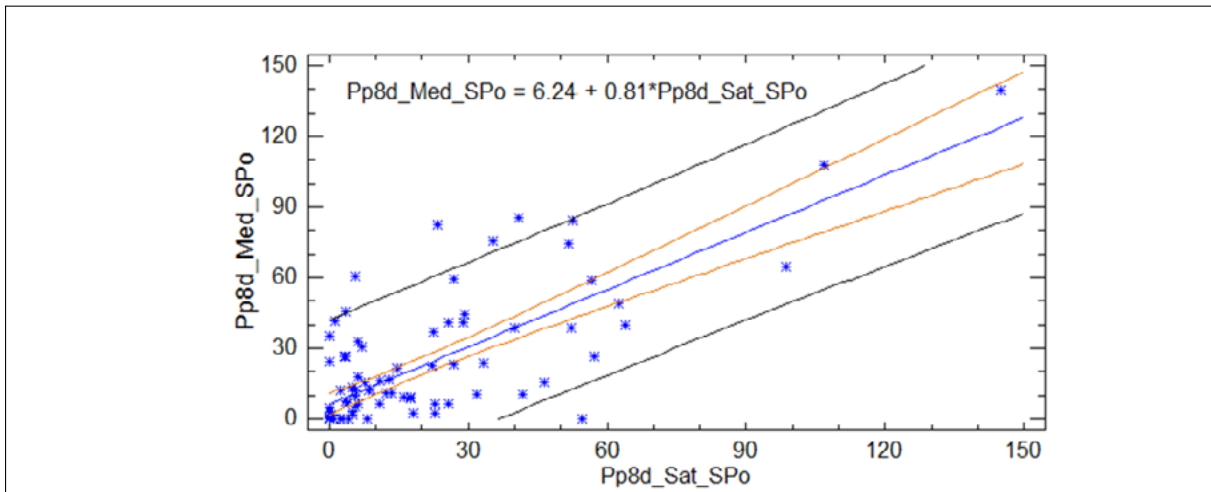


FIGURA 3. Diagrama de dispersión, recta de regresión y límites de confianza para datos acumulados en 8 días de la estación San Pedro

Teniendo en cuenta que en el período analizado se presentó un evento Niño en 2010 y Niña en 2011 (NOAA, 2014), fue propicio para comparar la precipitación acumulada en el período enero-abril en el cual dichos eventos coincidieron. Los registros durante los primeros cuatro meses de 2011 fueron notablemente inferiores a los del año anterior –salvo en Diamante con datos del pluviómetro–. Además los valores medidos en las estaciones son muy similares a los estimados por TRMM. Los mapas de la figura 4 indican que en Entre Ríos las precipitaciones de 2011 son prácticamente un 50% inferiores a las de 2010, en esta época los cultivos de maíz son los que resultan más afectados por la falta de lluvias.

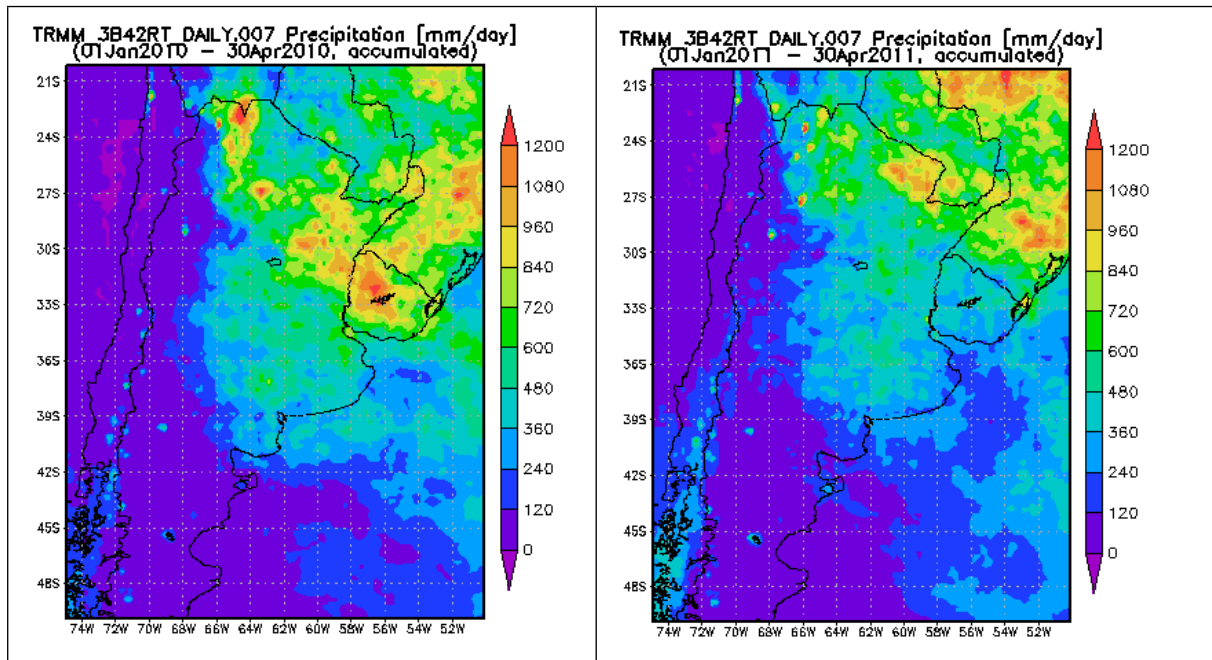


FIGURA 4. Distribución de la precipitación en la región durante los meses de episodios Niño (a) y Niña (b)

FUENTE: TRMM TOVAS, NASA GES-DISC.

El estudio y valoración cuantitativa de la vegetación mediante las técnicas de sensoramiento remoto se ha incrementado notablemente en las últimas décadas ya que es una herramienta valiosa para el manejo de recursos ambientales y la toma de decisiones. El uso de la teledetección en la determinación de diferentes coberturas vegetales o incluso condiciones sanitarias de cultivos extensivos es apropiado cuando es posible contar con imágenes de la energía reflejada en distintas regiones del espectro. Esto es debido a que las coberturas vegetales y demás elementos (suelo, agua) reflejan la energía incidente en onda corta en función de sus propiedades físicas. Estas diferencias pueden ser discriminadas en las imágenes cuando se cuenta con una buena resolución espectral. En función de este comportamiento espectral se han propuesto índices que sirven para discriminar los distintos elementos presentes en las imágenes y aún detectar diferencias dentro de una escena para un mismo cultivo. La reflectividad de las cubiertas vegetales es determinada por las características ópticas, la distribución espacial de todos sus constituyentes y proporciones.

Aguirre et al. (2016) evaluaron el comportamiento de diferentes índices de vegetación en una situación de sequía con el fin de mostrar la sensibilidad de los mismos para discriminar coberturas de cultivo de maíz en diferentes situaciones de disponibilidad de agua. También proponen un nuevo índice denominado Índice Multibanda Normalizado de la Vegetación (MBNVI por sus siglas en inglés) que presenta la particularidad de incluir una banda ubicada en el infrarrojo medio al conocido Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI). Además presentan y analizan otro nuevo índice denominado Índice de Suelo (SI por sus siglas en inglés) para tratar de discriminar entre cultivos en madurez y suelo preparado para siembra. Se comparan estos dos índices con otros como el Índice de Vegetación Ajustado por el Suelo (SAVI), el Índice SAVI Modificado (MSAVI2), el Índice Optimizado SAVI (OSAVI), el Índice de

Estrés de Humedad de la vegetación (MSI).

Los índices propuestos se calculan según las expresiones:

$$\text{MBNDVI} = (\text{IRC} - \text{R} - \text{IRM}_{2,2}) / (\text{IRC} + \text{R} + \text{IRM}_{2,2}) \quad (1)$$

$$\text{SI} = (\text{IRM}_{2,2} - \text{IRC}) / (\text{IRM}_{2,2} + \text{IRC}) \quad (2)$$

Donde:

IRC es la banda del infrarrojo cercano cuya longitud de onda central es 0,84 μm

R es la banda del rojo cuya longitud de onda central es 0,66 μm

$\text{IRM}_{2,2}$ es la banda del infrarrojo medio cuya longitud de onda central es 2.2 μm

Para comparar el desempeño de los índices se tomaron muestras de 3 clases de maíz (rendimiento bajo, medio o alto), una de suelo y otra de trigo maduro como se indican en la Tabla 1 con los valores medios para las diferentes coberturas.

TABLA 1. Valores medios de los índices para cada clase de cobertura

Clases	NDVI	MSAVI2	SAVI	OSAVI	MBNVI	SI	MSI
Maíz Rinde Bajo	0,558	0,372	0,389	0,472	0,234	-0,490	-0,235
Maíz Rinde Medio	0,616	0,403	0,418	0,515	0,305	-0,543	-0,265
Maíz Rinde Alto	0,661	0,466	0,472	0,567	0,394	-0,625	-0,344
Suelo	0,166	0,096	0,110	0,137	-0,275	0,022	0,174
Trigo maduro	0,169	0,100	0,114	0,141	-0,287	0,046	0,164

Puede observarse que los índices NDVI, MSAVI2, SAVI y OSAVI presentan valores mayores a 0,3 para las tres clases de rinde del cultivo de maíz mientras que, el índice MBNVI, presenta valores más bajos pero positivos. Sin embargo, para las clases "Trigo maduro" y "Suelo", los índices NDVI, MSAVI2, SAVI y OSAVI toman valores positivos comprendidos entre 0,1 y 0,2 mientras que el MBNVI toma valores negativos. Se ha realizado un análisis de varios índices de vegetación en lotes de maíz de secano, cuyos rindes fueron relevados usando un monitor de rendimiento, con el fin de evaluar su sensibilidad en la determinación de situaciones de estrés hídrico en una campaña de escasas precipitaciones como lo fue la campaña 2008/2009. Se encontró que los índices de vegetación que son calculados teniendo en cuenta la influencia del suelo presentan valores más bajos que el Índice de la Diferencia Normalizada (NDVI). El índice MBNVI presenta mayor sensibilidad para discriminar situaciones de estrés hídrico que los demás índices analizados (NDVI, SAVI, MSI, MSAVI2 y OSAVI). Por las condiciones experimentales en cuanto a un número de muestras limitado –al no disponer de monitores de rendimientos– se cree conveniente realizar otras pruebas que podrían afianzar y homologar estos resultados preliminares.

Entre Ríos se caracteriza por presentar un paisaje suavemente ondulado en la mayor parte de la superficie agrícola. Eso implica que los lotes cultivados generalmente presentan sectores altos, medios y bajos relativos. Bajo la hipótesis que la topografía influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos cuyo efecto sería evidente en imágenes multispectrales, se concretó un trabajo con el objetivo de comprobar el comportamiento de los índices NDVI, SAVI y MSAVI en función de la altura del terreno. La experiencia se llevó a cabo en la localidad de Crespo (según la carta topográfica del IGN 3360-3-1; escala: 1:50000), al sur del Departamento Paraná en la Provincia de Entre Ríos (Argentina). Se elaboró un

modelo digital de elevación a partir de las curvas de nivel digitalizadas de la carta topográfica. El MDE fue categorizado en bajo, medio y alto de acuerdo a 3 intervalos de clase del 33% –aproximadamente– cada uno. Los índices de vegetación, fueron obtenidos de imágenes provenientes del sensor Operational Land Imager (OLI) del Landsat 8 correspondientes al día 22 de febrero de 2016. Los resultados indican que existen diferencias significativas ($n=30$, $p < 0.05$) entre las medias de NDVI, SAVI Y MSAVI₂ de la categoría “bajo” del modelo digital de elevación respecto de las otras dos. Pero los índices SAVI y MSAVI₂ no muestran diferencias significativas cuando se analizan las categorías media y alta (Tabla 2). Se encontró que los valores promedios más elevados del NDVI se corresponden valores más altos de altura de acuerdo al MDE. Se concluye que en el área de estudio y para cultivos estivales, los índices NDVI, SAVI y MSAVI₂ resultarían afectados por la altura del terreno en la zona baja donde, además, presentan mayor variabilidad.

TABLA 2. Valores medios y desvíos estándares de los índices de vegetación para las 3 categorías del MDE y resultados del test de diferencias de medias

	Categoría DEM								
	Bajo			Medio			Alto		
	Media	desvío estándar		Media	desvío estándar		Media	desvío estándar	
NDVI	0.82	0.06	a	0.88	0.02	b	0.89	0.02	cb
SAVI	0.54	0.07	a	0.63	0.04	b	0.65	0.04	b
MSAVI ₂	0.57	0.10	a	0.68	0.06	b	0.71	0.05	b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0.05$; $n = 30$).

Eventos Niño/Niña en relación con la precipitación en la región

El fenómeno “El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)” tiene gran influencia en la lluvia del Sudeste de Sudamérica (Domínguez y Gonzales; 2013). Durante los años “Niño”, las precipitaciones estivales pueden ser abundantes. Por eso cuando el pronóstico anticipa la posibilidad que se presente, aparecen los interrogantes: ¿Cómo será “El Niño” que viene? ¿Será categoría “fuerte” o “muy fuerte”? Entonces es perentorio analizar, con anticipación, cómo se comportaría la precipitación respecto de los valores normales y su distribución geográfica en nuestro país.

En función de esto se realizó un análisis con datos históricos (1959-2010) de la precipitación mensual en Argentina y en la provincia de Entre Ríos con datos de Noviembre 2015 a Mayo 2016. En ambos se tuvieron en cuenta los valores correspondientes del índice ONI. La evolución del índice ONI mostró un parecido definido con los eventos Niño 82-83 y 97-98, caracterizados como los más fuertes desde 1959.

El objetivo fue analizar anomalías de precipitación en Argentina en el periodo 1959-2010 y en Entre Ríos durante Nov-2015 May-2016 en relación con el Índice Oceánico El Niño. De acuerdo a la evolución en los primeros meses se esperaba que El Niño anunciado, sea de una magnitud importante, con precipitaciones del trimestre (DEF) por encima de la media en gran parte del país. El evento estaría caracterizado por buena disponibilidad de agua para los cultivos, pero a su vez podría causar inundaciones en zonas deprimidas, por falta de drenaje, afectando no solo la producción sino también a la población que se encuentra en dichos lugares.

Para este trabajo se utilizaron datos de lluvia mensual de 60 estaciones argentinas, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), correspondientes al periodo 1959-2010. Los datos de Oct-2015 a May-2016 corresponden a estaciones meteorológicas de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos y de la Dirección de

Hidráulica de Entre Ríos. Se tomó en cuenta el Índice Oceánico el Niño (ONI) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) para identificar los años “Niño” y la marcha del índice durante el evento reciente.

La evolución de ONI, para el Niño 2015-2016 mostró similitud con dos eventos clasificados como “muy fuertes” que se presentaron en 1982-1983 y 1997-1998, éstos fueron los más fuertes desde 1959 (Figura 5).

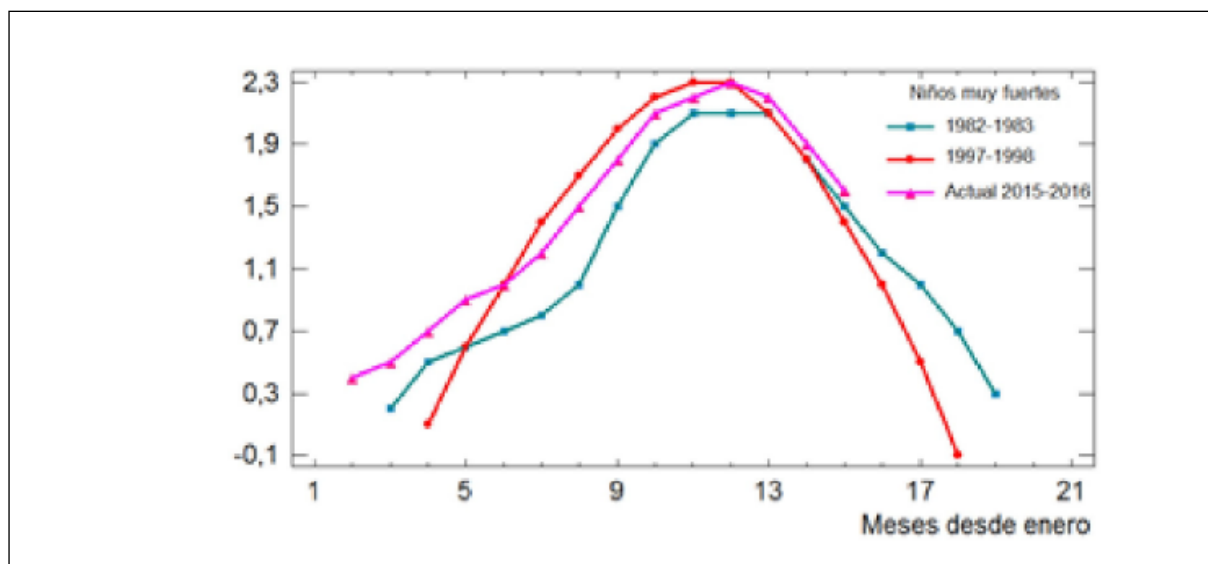


FIGURA 5. Evolución del índice ONI para los Niños 1982-1983 y 1997-1998 (muy fuertes) comparados con el de 2015-2016

Se observó que las precipitaciones acumuladas de octubre y noviembre de 2015 en Entre Ríos superaron los valores normales en más del 30%. En Entre Ríos hacia fines de 2015 las precipitaciones superiores a la normal se registraron en la región centro norte, mientras que en febrero de 2016 se concentraron hacia el sur. A partir de los datos obtenidos se confirma la asociación de precipitaciones superiores a la normal con eventos Niño especialmente en el noreste argentino. Se comprobó que durante el evento “El Niño” 2015-2016 las precipitaciones de verano (DEF) resultaron superiores a la normal en toda la provincia de Entre Ríos y alrededores. El seguimiento del índice ONI y de las lluvias mensuales posibilita contar con información para ofrecer alertas y tomar medidas de resguardo (Brizuela, 2016).

La distribución espacial de las precipitaciones estivales cuando ocurren anomalías como la comentada no está restringida a un área reducida como la provincia de Entre Ríos. Por el contrario en el SE de Sudamérica, en la cuenca del Plata, pueden ser abundantes causando inundaciones cuyas consecuencias económicas y sociales son muy desfavorables principalmente para sectores vulnerables de la población radicada en las márgenes de los ríos. Las cuencas próximas a los ríos Uruguay y Paraná son las que aportan en menor plazo volúmenes importantes de agua. Estos aportes responden directamente a la distribución espacial de la precipitación acumulada. Siendo el trimestre diciembre, enero, febrero (DEF) el que está asociado con situaciones extremas al sur de la cuenca se analizaron los datos de precipitación estival de la misión Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) en el período 1998-2016 y su relación con el fenómeno “El Niño-Oscilación del Sur” (ENOS). El interés estuvo centrado en los patrones espaciales de la precipitación acumulada. Se utilizaron datos de estaciones meteorológicas, ubicadas en el área de trabajo, y se determinó el grado de ajuste entre los valores estimados por satélite y los registrados por pluviómetros en superficie. El análisis de correlación, entre TRMM y mediciones en 12

estaciones pluviométricas, de precipitación acumulada mensual mostró un buen ajuste en todos los casos con coeficientes de correlación (r) superiores a 0.70 significativos (n>200, p<0.05) La figura 6 ilustra los casos de mejor y peor ajuste (Brizuela et al., 2017).

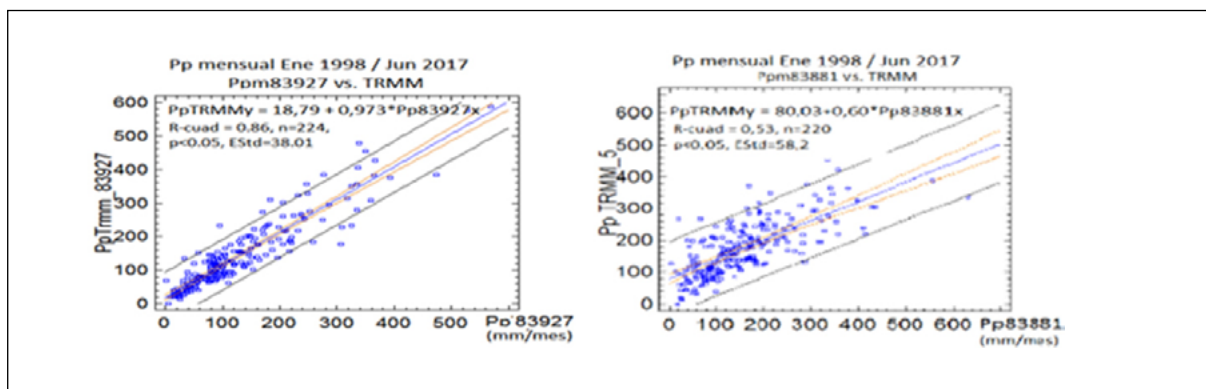


FIGURA 6. Ajuste en las estaciones 83927 (izq) y 83881 (der) de Pp mensual. Período –Ene 1998/Jun 2017–

Los campos de precipitación de DEF no presentan un patrón espacial definido para toda la cuenca cuando se presentan “Niño” o “Niña”. Se verifica que en las fronteras de Argentina, Brasil, Uruguay y Paraguay; durante los eventos “Niño”/“Niña” las cuencas próximas de los ríos Paraná y Uruguay reciben precipitaciones superiores/inferiores a la media, como informaron Silva y Silva (2015) y Camilloni y Barros (2003) y se observa en la figura 7 en dos casos.

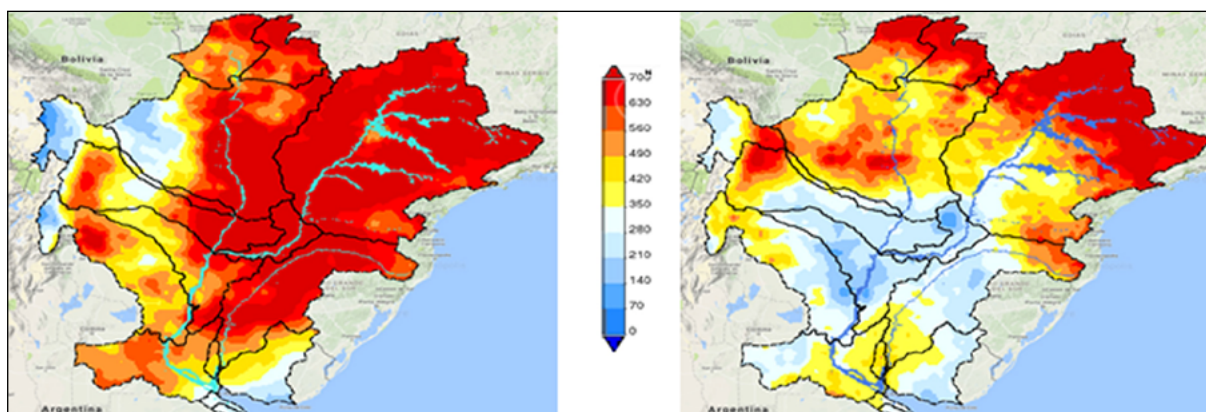


FIGURA 7. Pp acumulada DEF 15-16 –Niño– (izq.) y DEF 11-12 –Niña– (der.) en la CDP

Durante el período octubre de 2015 y abril de 2016, se registraron en Entre Ríos crecidas de significativa importancia sobre el río Uruguay, como consecuencia del fenómeno “El Niño”, provocando cuantiosas pérdidas económicas en la producción agrícola-ganadera y miles de familias evacuadas. Tóffoli et al. (2017) delimitaron y cuantificaron el área cubierta con agua en distintas fechas comprendidas en dicho período. Se utilizaron imágenes Landsat obtenidas durante el evento y se corroboró con el nivel hidrométrico del río. El área ocupada con agua se determinó mediante tres índices radiométricos: el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), el índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) y el “índice de masas de aguas someras” CEDEX. De los tres índices utilizados el MNDWI y el CEDEX

representaron mejor el área bajo agua, sobre todo en zonas con sedimentos en suspensión o vegetación acuática. Se deduce que utilizando estos índices es posible realizar un seguimiento durante el proceso de crecida, con imágenes sin nubes y evaluar las áreas ribereñas inundadas y las que podrían inundarse.

Conclusiones

En esta reseña se da cuenta de los temas desarrollados e investigados por el proyecto. Se abordó la cuestión de la humedad de suelo desde dos puntos de vista. Por un lado “calibración de sensores de estaciones automáticas y TDR 300” y, por otro, con modelos de edafotransferencia y de balance hídrico mejorado. Quedó conformada una pequeña base de datos meteorológicos, de estaciones convencionales y automáticas, junto con un banco de datos de satélites del período 1990-2015. Se preparó y se mantiene operativo un Balance hídrico seriado específico para el campo de la FCA UNER, se adapta a cultivos de invierno y de verano (según Kc) y para profundidad de suelo de 20, 60 y 100 cm.

En cuanto a las aplicaciones de la teledetección en agricultura se amplió el conocimiento respecto al comportamiento de índices de vegetación y de suelo, se propusieron nuevos índices que tendrían ventajas frente a otros índices conocidos. Además se comprobó que la precipitación estimada por satélite tiene un buen ajuste con datos de pluviómetros de estaciones automáticas y convencionales, especialmente de precipitación acumulada (8 días o 1 mes).

Finalmente se comprueba que los eventos Niño/Niña están asociados efectivamente con anomalías positivas/negativas de precipitación en la provincia de Entre Ríos y en gran parte del sector SE de la Cuenca del Plata. Y se destaca que es factible realizar un seguimiento de la distribución de la lluvia, en ocasión de ocurrencia de estos eventos con lo que se hace posible poner en práctica algunas medidas preventivas que eviten o disminuyan los efectos desfavorables que pueden producir.

Bibliografía

- BASUALDO, A., CARBAJO, P., OCCHIUZZI, S. (2015). Oficina de Riesgo Agropecuario –MAGyP– Argentina, Generación de escenarios a futuro del estado hídrico de los cultivos mediante Balance Hidrológico, Congremet 2015 Mendoza, Arg.: 11 p.
- BRIZUELA, A. B.; NOSETTO, M. D., AGUIRRE, C. A. y BRESSAN, M.P. (2015). Comparación de datos de precipitación estimada por TRMM con mediciones en estaciones meteorológicas de Entre Ríos, Revista UD y la Geomática, 10(1):18-26.
- BRIZUELA, A.; AGUIRRE, C. A.; BEFART, L.; KEMERER, A. C. (2015). Algo más sobre el niño que viene... (2015-2016). INEXA 6tas Jornadas de difusión de proyectos de Investigación, Extensión y actividades Académicas de la UNER. Concordia 12/11/2015.
- BRIZUELA, A.; BEFART, L. Y AGUIRRE, C. (2016) Precipitación en Entre Ríos durante el evento Niño 2015-2016. XVI Reunión Argentina y VIII Latinoamericana de Agrometeorología. Puerto Madryn, Argentina. 20 al 23 de septiembre de 2016. Actas de Ralda 2016.
- BRIZUELA A. B., BEFART L., AGUIRRE C. A., KINDERKNECHT L., (2017). Patrones espaciales de precipitación estival según TRMM 1998-2016 en la Cuenca del Plata. VII SIC 2017 - Simposio Internacional de Climatología. SBMET, Petrópolis, RJ, Brasil. 18 al 22 de setiembre de 2017
- CAMILLONI, INÉS A., AND VICENTE R. BARROS. (2003) Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing.” *Journal of Hydrology* 278(1): 94-106.
- CURTO, L., COVI, M., GASSMANN, M. I., y CAMBARERI, M. (2016). Calibración de datos observados de contenido de agua en el suelo con sensores capacitivos. *Meteorologica*, 41(2), 49-63.
- DOMÍNGUEZ, D. A. Y GONZALES, M. H. (2013). Variabilidad de la precipitación en el Centro Oeste de Argentina y un modelo de predicción estadística. 38(2): 105–120.

- GARBARINI, E. M., y GONZALEZ, M. H. (2014). Variabilidad de la precipitación en Argentina: factores de influencia. In the Proceedings of 2do Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe, Argentina: 23-26.
- MARINO, M. B. (2007). Variabilidad de la precipitación en Argentina en diferentes escalas temporales, relacionada con actividad convectiva observada. Documentación de la metodología para el tratamiento de la información. Verificación del desempeño de un modelo regional de pronóstico de precipitación (Disertación doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires).
- MKHABELA, M. S., & BULLOCK, P. R. (2012). Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management*, 110:16-24.
- PASSADORE L. y WENDLER G., (2011). Calibración de sensores de humedad del suelo y estimación de almacenaje diario de agua en el suelo en sitios con estaciones meteorológicas instaladas de la provincia de Entre Ríos. Trabajo Final de graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos.
- PRASADA RAO G.S.L.H.V. (2008), *Agricultural Meteorology*. PHI Learning Pvt. Ltd., Delhi 110192,
- TÓFFOLI M. B., BRIZUELA A. B., KEMERER A. Y BRESSAN M. P. (2016) Comparación de áreas inundadas en las márgenes del río Uruguay, Entre Ríos, durante el evento niño 2015-2016. Libro de Actas de XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica; ed. por Walter F. Sione [et al.]. - 1a ed. - EdUnLu, 2017. Libro digital, PDF, 2016, pp 2395-2404, ISBN: 978-987-3941-14-6, Luján, Argentina.
- SILVA, E. R. L.; SILVA, M. E. S. (2015). Memória de eventos ENOS na precipitação da américa do sul. *Revista do Departamento de Geografia*, 30(1): 34-55.
- STEDUTO, P., HSIAO, T. C., FERERES, E., y RAES, D. (2012). Crop yield response to water, Vol. 1028, Rome: FAO.
- VARGAS, W. M., PENALBA, O. y MINETTI, J. (1999): "Las precipitaciones mensuales de la Argentina y el ENOS. Un enfoque hacia el problema de la decisión", *Meteorológica*, 24: 3-18.
- VITA SERMAN, F., SCHUGURENSKY, C., CARRIÓN, R., RODRÍGUEZ, S.. (2005). Evaluación del comportamiento de sensores de humedad de suelo del tipo FDR de desarrollo local, en relación al contenido de agua y textura del suelo. 1-EEA San Juan, INTA; 2- Instituto de Automática de la Facultad de Ingeniería, U.N. San Juan.
- VIM. Vocabulario Internacional de Metrología, (2013). Traducción al español del VIM. 3.ª edición. Organización Internacional De Metrología Legal, Servicio Nacional de Metrología – Indecopi Versión Peruana Publicada en Diciembre 2014 - Organización Internacional de Metrología Legal.
- WEISS, A., VAN CROWDER, L., & BERNARDI, M. (2000). Communicating agrometeorological information to farming communities. *Agricultural and forest Meteorology*, 103(1-2):185-196.

PID 2161

Denominación del Proyecto

Análisis de la variabilidad de la lluvia, la evapotranspiración e índices de vegetación en áreas agrícolas de Entre Ríos

Director del proyecto

BRIZUELA, ARMANDO B

Codirector

Aguirre, César A.

Unidad Ejecutora

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Dependencia

Universidad Nacional de Entre Ríos

Cátedra, área o disciplina científica

Cátedra de Climatología Agrícola – Dpto de Ciencias de la Tierra

Contacto

armando.brizuela@gmail.com

Integrantes del Proyecto

NOSETTO, Marcelo D.; KEMERER, Alejandra C.; TÓFFOLI, María B.;
PASSADORE, Lucía; KINDERKNECHT L., BRESSAN M. P. y BEFART L

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

30/09/2014 y 30/09/2017

Aprobación del Informe Final por Resolución CS N° 349/18 (13/12/2018)

[<<< VOLVER AL INICIO](#)