

RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES EN EL CENTRO OESTE DE ENTRE RÍOS

José D. OSZUST¹; Marcelo G. WILSON²; Ana B. WINGEYER²; Mariela S. SEEHAUS²; María C. SASAL²; Emmanuel A. GABIOUD²; Natalia V. VAN OPSTAL²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta 11 km. 10,5. (3101) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Paraná. Ruta 11 km. 12,5. (3101) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

Autor de correspondencia: jose.oszust@fca.uner.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se caracteriza el régimen pluviométrico de la zona centro oeste de Entre Ríos a distintas escalas de tiempo y se analiza y compara el comportamiento de las precipitaciones de 10 campañas agrícolas. A tal efecto, se utilizaron datos de precipitaciones diarias (PPd) de la Estación Experimental Agropecuaria Paraná de INTA, correspondientes al período 1934 - 2016. A partir de las PPd se calcularon las precipitaciones mensuales (PPM), precipitaciones trimestrales (PPT) y precipitaciones de una campaña agrícola (PPA). Las PPA en la década comprendida entre las campañas 2006-2007 y 2015-2016 presentaron un valor medio de 1126 mm año⁻¹, con un mínimo de 732 mm año⁻¹ y un máximo de 1595 mm año⁻¹. Se contabilizaron 795 días con precipitaciones (21,8 % del total de días de la década). De ellos, 526 tuvieron un valor menor a los 12,5 mm (66%). El 95 % de las PPd presentaron un valor menor a 54 mm. En la década, solo se produjeron 5 días con eventos que superaron los 107 mm día⁻¹. Las PPT se diferenciaron significativamente entre trimestres. Los trimestres 3 (enero-marzo) y 2 (octubre-diciembre) no se diferenciaron significativamente entre sí y presentaron los mayores valores de PPT (461 mm trimestre⁻¹ y 362 mm trimestre⁻¹). Los menores valores de PPT ocurren, en promedio, entre los meses de abril y setiembre (198 mm trimestre⁻¹ y 105 mm trimestre⁻¹). Entre octubre y diciembre se identificaron 50 días con precipitaciones, mientras que entre enero y junio fue de 30 días en promedio. Se logró clasificar a las 10 campañas de acuerdo al Índice Normalizado de Precipitación (SPI, en inglés) anual, permitiendo diferenciar aquellas campañas con un comportamiento normal respecto de las campañas extremas. Si bien el 66% de PPd dentro de una campaña son menores a 12,5 mm, estas solo representaron el 17% del volumen precipitado.

Palabras clave: precipitación anual, Índice Normalizado de Precipitación, agricultura

SUMMARY

Precipitation regime on the central western area of Entre Ríos

Located in the south of the region of Mesopotamia, the province of Entre Ríos (Argentina) shows an undulating topography and low soil infiltration capacity. As a consequence, a large area of the province is prone to soil degradation by water erosion. This study aimed to characterize the precipitation regime of the central western area of Entre Ríos at different time scales, and to analyze and compare the behavior of rainfall during 10 agricultural years. For this purpose, data on daily rainfall values (PPd, in Spanish), recorded in the period between

1934-2016 by INTA (in Spanish) in its Agricultural Experimental Station-Paraná, were analyzed. From the PPd values, monthly rainfall (PPM, in Spanish), three-month rainfall (PPT, in Spanish) and rainfall of each agricultural year (PPA, in Spanish) values were calculated. The ten agricultural-year period, from 2006-2007 to 2015-2016, showed an average rate of 1126 mm year⁻¹, with minimum and maximum rates of 732 mm year⁻¹ and 1595 mm year⁻¹, respectively. Rainfall days accounted for 795 (21.8 % of the total days of the period), 526 of which showed daily rainfall values below 12.5 mm (66% of the total rainfall days). Up to 95% of the PPd were lower than 54 mm. In the decade, there were only 5 days with events that exceeded 107 mm day⁻¹. The PPTs values differed significantly between trimesters: 3rd trimester (Jan. - Mar.) and 2nd trimester (Oct. - Dec.) were not significantly different and showed the highest PPT values (461 mm trimester⁻¹ and 362 mm trimester⁻¹, respectively). The lowest PPT values occurred, on average, between April and September (198 mm trimester⁻¹ and 105 mm trimester⁻¹). Rainfall days accounted for 50 days between October and December and 30, between January and June, on average. The ten agricultural years were classified by means of the annual Standardized Precipitation Index (SPI), which allowed to differentiate normal rainfall years from those with excessive precipitation. Although 66% of PPd within an agricultural year were lower than 12.5 mm, they represented only 17% of the total rainfall.

Keywords: annual precipitation, Standardized Precipitation Index, agriculture

Introducción

La provincia de Entre Ríos se localiza al sur de la región mesopotámica, en el noreste de la República Argentina. Con una superficie de 76546 km², se sitúa entre los 30° 10' y 34° 03' de latitud Sur y los 57° 48' y 60° 47' de longitud Oeste. Se caracteriza por su topografía ondulada con pendientes pronunciadas y por la baja capacidad de infiltración de sus suelos debido a características intrínsecas (presencia de horizonte Bt, predominancia de suelos con características vérticas) y antrópicas (encostramiento superficial y/o compactación subsuperficial). Estas características predisponen a gran parte de la superficie provincial a procesos de degradación de suelos, especialmente por erosión hídrica en el período primavera-estivo-otoño, cuando se producen las precipitaciones de mayor intensidad (Scotta, 1993).

El clima es templado húmedo de llanura, con influencia de vientos húmedos del noreste, de vientos secos y refrigerantes del sudoeste (causantes de los cambios repentinos en el

estado del tiempo) y vientos del sudeste -aire frío saturado de humedad- que dan lugar a semanas enteras de cielo cubierto, lluvias y temperaturas estables. La humedad relativa se mantiene en niveles elevados durante el año, con un valor medio de 71%. El período más húmedo se presenta de abril a julio, con un promedio de 76% (Plan Mapa de suelos, Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos, 1998).

La precipitación es uno de los elementos climáticos de mayor importancia para el hombre debido a que no sólo influye en la configuración del medio natural sino que también condiciona las actividades humanas (Brendel *et. al.*, 2017). Una de las actividades que es afectada por cambios en las precipitaciones es la producción agropecuaria (Magrin *et. al.*, 2005; Brendel, 2015; Jozami *et. al.*, 2015). Otro fenómeno que cobra importancia cuando se producen precipitaciones por encima de las normales son los fenómenos asociados a la erosión hídrica y el escurrimiento superficial (Kinderknecht *et. al.*, 2004; Saluso, 2008;

Sasal *et. al.*, 2010). Estos fenómenos cobran relevancia en zonas como la provincia de Entre Ríos, caracterizada por una importante actividad agropecuaria que se realiza sobre una topografía ondulada.

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar el régimen pluviométrico de la zona centro oeste de Entre Ríos a distintas escalas de tiempo (década, campaña agrícola y trimestre). Asimismo, analizar el comportamiento de las precipitaciones de 10 campañas agrícolas y explorar su relación con el índice normalizado de precipitación.

Materiales y metodología

En este estudio se utilizaron los datos de precipitaciones diarias (PPd) del Observatorio Meteorológico de la Estación Experimental Paraná de INTA correspondientes al período 1934 - 2016. A partir de PPd se calcularon las precipitaciones mensuales (PPM), precipitaciones trimestrales (PPT) y precipitaciones de una campaña agrícola (PPA). PPM se obtuvo como la suma de las precipitaciones diarias dentro de cada mes. Para determinar PPA, se sumó las precipitaciones desde el 1 de julio de un año hasta las del 30 junio del año siguiente. En tanto, para obtener la precipitación trimestral (PPT), se dividió a cada campaña agrícola en 4 trimestres. El primero se inicia el 1 de julio y termina el 30 de setiembre; el segundo va desde el 1 de octubre hasta el 31 de diciembre; el tercero incluye a los meses de enero a marzo y el cuarto trimestre lo constituyen los meses de abril, mayo y junio. Para obtener la PPT de un trimestre particular, se sumaron las precipitaciones diarias dentro del mismo. Por último, se agruparon las PPA en décadas para determinar el valor medio de la precipitación decádica (PPD). La primera década se inicia en la campaña 1936-1937 y termina en 1945-1946. La segunda se inicia en 1946-1947 hasta 1955-1956 y así sucesivamente hasta la década comprendida entre las campañas 2006-2007 hasta 2015-2016.

Se utilizaron las PPM desde 1934-1935 hasta la 2006-2015 para clasificar a los

trimestres y campañas correspondientes a la década comprendida entre 2006-2007 y 2015-2016 según el Índice Normalizado de Precipitación (SPI) (OMM N° 1090, 2012). SPI utiliza un registro de precipitaciones a largo plazo (mayor a 30 años) y lo ajusta a una distribución de probabilidades normalizada. Luego se compara cada período de tiempo a analizar con dicha distribución normalizada de precipitaciones (Edwards y McKee, 1997). Cuando SPI es positivo en el período analizado, indica que la precipitación es mayor que la mediana, y por lo tanto ese período corresponde a un clima húmedo. Los valores negativos de SPI son indicadores de precipitaciones por debajo de la mediana, el clima en ese período es seco. De acuerdo al valor de SPI y la duración de valores similares se obtuvieron la **intensidad de la sequía** (McKee *et. al.*, 1993) (Tabla1). Se consideró que un período de sequía inicia cuando SPI tuvo valores negativos menores a -1; y su **duración** se extiende hasta que se encuentre el primer valor positivo. En tanto, la **magnitud** se calcula como la suma de los valores absolutos de SPI que ocurrieron en el período de sequía. Por consiguiente, todos los episodios de sequía tienen una duración definida, una intensidad dada por el valor de SPI y una magnitud.

Los valores de SPI para una escala de tiempo trimestral reflejan las condiciones de humedad a corto y medio plazo, mientras que los valores para 12 meses reflejan patrones de precipitación a largo plazo. Estas dos escalas de análisis son las consideradas en este trabajo.

Análisis estadístico de los datos

Para analizar las precipitaciones, se ajustaron diferentes modelos lineales mixtos con distintas estructuras de varianza combinadas con estructuras de correlación residual, heterocedasticidad y efectos aleatorios. En todos los casos se utilizó el mismo modelo de medias. Mediante criterios de verosimilitud penalizada (AIC y BIC) se eligió el mejor modelo que describía los datos. Posteriormente, en las variables

Tabla 1. Clasificación de la Intensidad de una sequía en un período de tiempo a partir del valor del índice normalizado de precipitación (SPI)

SPI	INTENSIDAD DE SEQUÍA
>2,00	extremadamente húmedo
1,50 a 1,99	muy húmedo
1,00 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal
-1,00 a -1,49	moderadamente seco
-1,50 a -1,99	severamente seco
<-2,00	extremadamente seco

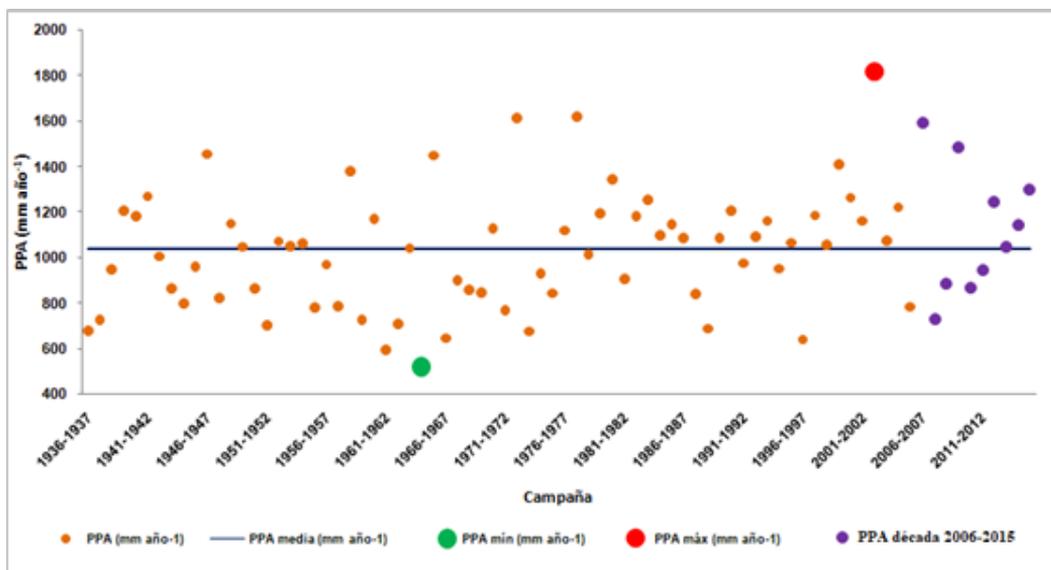


Figura 1. Valores de la precipitaciones de cada campaña agrícola (PPA) en el período 1936-1937 al 2015-2016. En color diferente se presentan los valores de PPA para la década del 2006-2007 al 2015-2016.

que el modelo indicaba que existían diferencia entre medias, se realizó un test de comparación de medias utilizando el método DGC y un $\alpha=0,05$ para obtener la distribución de las medias. Además, se realizó un análisis de correlaciones para buscar relaciones entre variables y regresiones lineales para obtener dependencia funcional entre 2 variables.

Resultados y discusión

Análisis de las precipitaciones históricas

No se encontraron diferencias significativas entre las 8 décadas analizadas ($\alpha<0,05$) en las PPD. Los valores decádicos medidos oscilaron entre 922 mm año⁻¹ y 1189 mm año⁻¹, con un valor medio de 1040 mm año⁻¹. Las PPA de las campañas comprendidas entre 1934-1935 y 2015-2016 se presentan

en la Figura 1. La PPA mínima de toda la serie es la que ocurrió en la campaña 1964-1965 con 520 mm año⁻¹. El valor máximo se dio en la campaña 2002-2003 con 1816 mm año⁻¹. El 22,5 % de las campañas se encuentran por debajo de los 832 mm año⁻¹ y, el 17,5 % por encima de los 1248 mm año⁻¹. Esto significa que el 82,5 % de las campañas tienen una PPA menor a 1248 mm año⁻¹. La variación interanual de las precipitaciones estaría relacionada con los fenómenos El Niño y La Niña, caracterizados por precipitaciones superiores e inferiores al promedio histórico, respectivamente (Penalba et al., 2016).

Análisis de las precipitaciones de la década 2006-2007 a 2015-2016

Las PPA en la década comprendida entre las campañas 2006-2007 y 2015-2016 presentan un valor medio de 1126 mm año⁻¹, con un mínimo de 732 mm año⁻¹ y un máximo de 1595 mm año⁻¹. En cinco campañas, la PPA fue superior a la media y en las otras cinco inferiores a la misma. Se contabilizaron 795 días con precipitaciones, representando el 21,8 % del total de días de la década. De ellos, 526 tuvieron un valor menor a los 12,5 mm (66%), mientras que el 95 % de las PPD ocurridas presentan un valor menor a los 54 mm. En toda la década, solo se produjeron 5 días con eventos que superaron los 107 mm día⁻¹, representando el 0,6 % del total. El valor máximo de PPD registrado en la década fue de 241 mm día⁻¹. Se produjeron por campaña en

promedio, 80 días con precipitaciones; con un mínimo de 61 días y un máximo de 95 días con lluvia.

Análisis de las precipitaciones trimestrales en la década 2006-2007 a 2015-2016

Las PPT entre campañas para la década comprendida entre las campañas 2006-2007 y 2015-2016 no se diferenciaron significativamente. Pero al analizar las PPT entre trimestres para las 10 campañas, sí se encontraron diferencias significativas (Tabla 2). Los trimestres 3 y 2 no se diferencian significativamente entre sí y presentan los mayores valores de PPT (461 mm trimestre⁻¹ y 362 mm trimestre⁻¹, respectivamente). Los trimestres 4 y 1 no se diferencian significativamente entre sí, y son los períodos donde ocurren los menores valores de PPT (198 mm trimestre⁻¹ y 105 mm trimestre⁻¹ respectivamente). Se contabilizaron los días con precipitaciones en cada trimestre, encontrándose diferencias significativas entre los mismos. Los trimestres 3 y 2 presentan, en promedio, 25 días lluviosos y no se diferencian entre sí. Mientras que en los trimestres 4 y 1 ocurren 16 y 14 días con precipitaciones (Tabla 2). Magrin et al. (2005), muestran resultados similares en cuanto a la distribución de las precipitaciones, observando que la concentración de las precipitaciones en la región pampeana se da en los meses de primavera-verano al igual que los observados en este trabajo.

Tabla 2. Valores de las precipitaciones medias de cada trimestre (PPT), días con precipitaciones dentro de cada trimestre y valor promedio de una precipitación en cada trimestre en la década 2006-2016

Trimestre	PPT (mm trimestre ⁻¹)	eventos (n°)	PPd (mm día ⁻¹)
1 (jul-set)	105,3 b	14 b	7,8 c
2 (oct-dic)	362,2 a	25 a	14,4 b
3 (ene-mar)	460,6 a	25 a	18,3 a
4 (abr-jun)	197,9 b	16 b	12,6 b

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% mediante DGC

Tabla 3. Valores promedios porcentuales de precipitación de una campaña (PPA) en cada trimestre pertenecientes a la década 2006-2007 a 2015-2016

Trimestre	PPT (mm trimestre ⁻¹)					eventos (n°)
	<12,5	12,5 a < 30	30 a < 50	50 a < 75	> 75	
1 (jul-set)	3,2	3,2	2,5	0,5	0,0	9
2 (oct-dic)	5,4	10,4	10,7	4,9	0,8	32
3 (ene-mar)	5,4	8,7	8,6	5,7	12,5	41
4 (abr-jun)	3,3	4,8	4,2	3,6	1,6	18
Total por categoría de PPd	17	27	26	15	15	100

Las precipitaciones diarias (PPd) entre trimestres presentaron diferencias significativas. El trimestre 3 (ene-mar), se diferencia significativamente de los demás, presentando los mayores valores medios de PPd. En el trimestre 1 (jul-set), ocurren los menores valores de PPd, diferenciándose significativamente de los demás. Los trimestres 2 y 4 no se diferencian significativamente entre sí, presentando valores intermedios de PPd (Tabla 2).

Cuando se expresan los resultados en relación a la campaña, para un año promedio de la década 2006-2007 a 2015-2016, en el primer trimestre ocurre el 17% de los eventos de precipitación, el segundo y tercero acumulan el 32 % cada uno y el cuarto el 20 %. Sin embargo, en volumen de agua precipitado en cada trimestre, se observa que el trimestre 1 aporta solo el 9% de la PPA, mientras que, en el tercero precipita un 41% de PPA; 9% más de volumen que el segundo trimestre (Tabla 3). El 66 % de los días con precipitación en cada campaña presentan un valor de PPd menor a 12,5 mm y contribuyen con solo un 17 % de la PPA. El 68 % de la PPA media es aportado por precipitaciones que oscilan entre los 12,5 mm día⁻¹ y los 75 mm día⁻¹. Las PPd mayores a 75 mm aportan el 15 % de la PPA, las cuales ocurren principalmente

en el trimestre 3 aportando el 13 % de la PPA (Tabla 3).

Aplicación del Índice normalizado de precipitación (SPI)

Los valores anuales de SPI para las campañas comprendidas dentro de la década 2006-2015 se presentan en la Tabla 4. Existen 6 campañas consideradas como normales, 2 muy húmedas, 1 moderadamente húmeda y 1 moderadamente seca. Se detectó un período de sequía anual con una duración de 2 campañas (2007-2008 y 2008-2009) con una magnitud de 1,73; clasificándose al período como una sequía moderada con un tiempo de recurrencia de 10 años (McKee *et al*, 1993). Se encontró una correlación significativa entre SPI anual y PPA ($r=0,997$; $n=10$).

Los valores trimestrales de SPI no se diferenciaron significativamente entre campañas para la década 2006-2007 a 2015-2016. El trimestre 1, en las 10 campañas, tiene una clasificación de normal, con 7 de ellas con valores menores a cero. El trimestre 2 es un período normal en 7 de las 10 campañas, en 2 se comportan como moderadamente húmedo a muy húmedo y la restante fue moderadamente seca. Mientras que, el trimestre 3 presentó períodos normales en 7 de las 10 campañas, 2 se comportaron como extremadamente húmedo y la restante

Tabla 4. Precipitaciones por campaña (PPA) en la década 2006-2007 a 2015-2016, sus correspondientes índices normalizados de precipitación (SPI) y su clasificación como período de sequía

Campaña agrícola	PPA (mm año ⁻¹)	SPI	Clasificación de la campaña
Campaña 2006-2007	1595,40	1,94	muy húmedo
Campaña 2007-2008	732,20	-1,21	moderadamente seco
Campaña 2008-2009	885,60	-0,52	normal
Campaña 2009-2010	1485,20	1,61	muy húmedo
Campaña 2010-2011	871,70	-0,57	normal
Campaña 2011-2012	948,70	-0,26	normal
Campaña 2012-2013	1249,30	0,86	normal
Campaña 2013-2014	1047,60	0,12	normal
Campaña 2014-2015	1145,50	0,49	normal
Campaña 2015-2016	1298,70	1,02	moderadamente húmedo

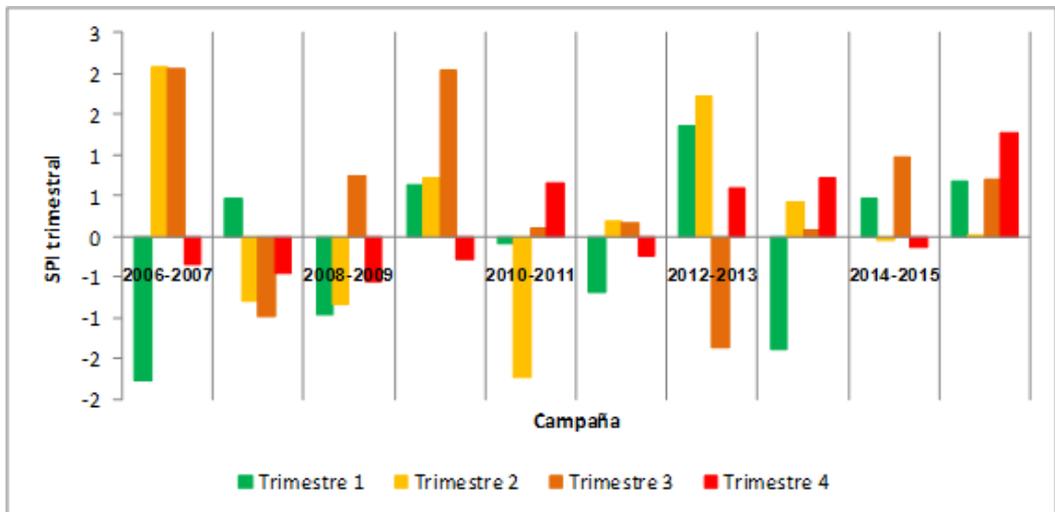


Figura 2. Valores trimestrales del índice normalizado de precipitación (SPI) para las campañas 2006-2007 a 2015-2016

fue severamente seca. El trimestre 4 tuvo 7 campañas como normal para SPI y la restante como muy húmeda. Siendo el único trimestre sin déficit hídrico en las 10 campañas (Figura 2). Se encontró una correlación significativa entre PPA y SPI anual ($r=0,997$; $n=10$); PPT y SPI trimestral ($r=0,77$; $n=40$).

Conclusiones

No se encontraron diferencias significativas entre las 8 décadas analizadas. Los valores decádicos medidos oscilaron entre 922 mm año⁻¹ y 1189 mm año⁻¹, con un valor medio de 1040 mm año⁻¹.

La década comprendida entre las campañas

2006-2007 y 2015-2016, presentó 795 días con precipitaciones, en los cuáles el 66% mostró valores inferiores a 12,5 mm día⁻¹. A su vez, sólo el 0,6% superaron los 107 mm día⁻¹. En dicha década, no se encontraron diferencias entre campañas agrícolas, pero sí se hallaron diferencias entre trimestres. Las mayores precipitaciones ocurren en el segundo trimestre (octubre-diciembre) con 362 mm trimestre⁻¹ y el tercer trimestre (enero-marzo) con 461 mm trimestre⁻¹. Teniendo en cuenta que las precipitaciones son uno de los factores que más afectan a la producción agrícola actual y es el factor desencadenante de los procesos de escurrimiento superficiales y erosión hídrica, la información generada en este trabajo podrá ser utilizada como insumo en el estudio de dichos fenómenos. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten particionar una campaña agrícola y conocer la distribución de las precipitaciones en trimestres, facilitando la planificación adecuada de las actividades agropecuarias que dependen de una condición de humedad de suelo particular.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por los Proyectos Nacionales de INTA PD I062, PD I039 y PE 046. Los autores expresan su agradecimiento al personal técnico y de campo del Departamento de Recursos Naturales y Gestión Ambiental de la EEA Paraná del INTA, por la conducción y mantenimiento del ensayo de campo y de la Estación Meteorológica. Un agradecimiento especial al Ing. N. Garciarena y Téc. G. Maffini.

Bibliografía

Jozami, E., M. B. Costanzo y A. S. Coronel. 2015. Influencia de "El Niño-Oscilación Sur" sobre las precipitaciones en Paraná y Lucas González (Entre Ríos, Argentina). *Revista de Climatología*. Vol. 15 (2015): 85-92 ISSN 1578-8768

- Brendel, A. 2015. Aplicación del índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración en la región semiárida bonaerense (1970-2012) (Tesis de Grado). <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3253>
- Kinderknecht A., Paparotti O. y Saluzzio M. 2004. Estudio de la erosionabilidad de un suelo vertisol mediante el uso de un simulador de lluvia. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná. Entre Ríos
- Lindsey, Rebecca. 2013. In *Watching for El Niño and La Niña*, NOAA Adapts to Global Warming. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/watching-el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-noaa-adapts-global-warming>. Ultimo acceso mayo de 2020.
- Magrin, Graciela O.; María I. Travasso y Gabriel R. Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *ClimaticChange* (2005) 72: 229–249 DOI: 10.1007/s10584-005-5374-9
- Penalba, Olga; Rivera, Juan. 2016. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America – emphasis in regional drought occurrences. *Adv. Geosci.*, 42, 1–14.
- Saluso, José Humberto. 2008. Actualización del factor r de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) para gran parte del país. Período 1950/2005. *Actas de XII Reunión Argentina de Agrometeorología*. Octubre de 2008. Jujuy, Argentina
- Sasal, María C, Andriulo, Adrián E, Wilson, Marcelo G, & Portela, Silvina I. 2010. Glyphosate losses by drainage and runoff from Mollisols under no-till agriculture. *Información tecnológica*, 21(5), 135-142. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000500017>

Original recibido (20/05/2020)
Original aceptado (15/08/2020)