

ÁREAS DE RIESGO AGROCLIMÁTICO PARA CUATRO ROTACIONES DE CULTIVOS DE LA REGIÓN ORIENTAL AGROPECUARIA DE LA PAMPA (ARGENTINA)

AGROCLIMATIC RISK AREAS FOR FOUR CROP ROTATION SCHEDULES IN THE AGRICULTURAL EASTERN REGION OF LA PAMPA (ARGENTINA)

Casagrande G.A.^{1,2}, G.T. Vergara^{1*}, L. Belmonte², M.E. Fuentes², J.P. Arnaiz¹
& J.A. Forte Lay³

Recibido 12/06/2013
Aceptado 03/04/2014

RESUMEN

Los riesgos climáticos son, en esencia, la probabilidad de ocurrencia de eventos de baja frecuencia que más tarde o más temprano terminan desarrollándose, guiados por su particular periodicidad. Estos riesgos se convierten en agroclimáticos cuando afectan a la producción agropecuaria. En el presente trabajo se calculó un índice de riesgo agroclimático (RAC) basado en el estudio de la climatología del agua del suelo simulando diferentes planteos rotacionales. El RAC toma valores entre 0 (riesgo mínimo) y 1 (riesgo máximo). Se utilizaron cuatro planteos rotacionales en secano: barbecho-trigo, alfalfa-trigo, barbecho-girasol y verdeo de invierno-girasol en veintiuna localidades de la región oriental agropecuaria de La Pampa. Los mapas muestran que en las cuatro rotaciones analizadas, durante todas las décadas que involucra cada planteo, se presentaron condiciones de sequía condicional o absoluta dentro de la época del año correspondiente al semestre cálido. La rotación barbecho-trigo presenta menor riesgo climático (RAC: 0.1 a 0.4) que alfalfa-trigo (RAC: 0.1 a 0.6), barbecho-girasol (RAC: 0.4 a 0.5) y verdeo de invierno-girasol (RAC: 0.4 a 0.5). Los planteos rotacionales que involucran a un cultivo anual invernal (trigo) y los que consideran un cultivo anual estival (girasol) presentan mayor riesgo agroclimático de deficiencia hídrica en la zona centro-sur de la región agropecuaria pampeana que en la del nor-noreste.

PALABRAS CLAVE: riesgo agroclimático (RAC), cultivos, rotaciones, La Pampa

ABSTRACT

Climatic risks imply the probability of occurrence of extreme weather conditions, events that can threaten nature and human activities with a particular pattern of low frequency. They are termed agroclimatic risks when affecting farm production. The aim of this work was to assess an index of agroclimatic risk (ACR), based on the study of soil water climatology and simulation of different crop rotation schedules. The ACR index scoring was based on a scale of values running from 0 (minimum risk) to 1 (maximum risk). Four crop rotation schedules, under conditions of dry-land farming, were tested in 21 sites all over the Eastern region of La Pampa province: fallow land - wheat crop (FL-WC), lucerne pasture - wheat crop (LP-WC), fallow land - sunflower crop (FL-SC) and winter annual grass pasture - sunflower crop (WP-SC). Maps, generated with information involving the application for decades of FL-WC, LP-WC, FL-SC and WP-SC rotation schedules, showed the yearly occurrence of partial or absolute droughts during the warm semester. Rotation schedule FL-WC exhibited lower ACR values (0.1 to 0.4) than LP-WC (0.1 to 0.6), FL-SC (0.4 to 0.5) and WP-SC (0.4 to 0.5). In all cases, ACR index took higher values for the Central and South-Eastern regions than the North-Eastern region of La Pampa province.

KEY WORDS: climate risk index (RAC), crop, rotations, La Pampa

¹ Facultad de Agronomía. UNLPam. * vergara@agro.unlpam.edu.ar

² EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"

³ CONICET

INTRODUCCIÓN

El clima, que brinda los elementos que posibilitan la vida, particularmente el agua y la temperatura, es la herramienta fundamental que nos permite planificar las distintas actividades del hombre. Aprovecharlo, desarrollando con inteligencia las acciones adecuadas al ritmo e intensidad propios de cada región, contribuye al pleno desarrollo de la economía (Ledesma, 1979).

Las precipitaciones constituyen el principal suministro de agua en las zonas agrícolas de secano y son por lo tanto el elemento climático de mayor importancia, tanto sea por su aporte anual como por su régimen estacional. Ellas definen, en parte, la distribución y rendimiento de los cultivos. De todos los elementos del clima, el de mayor variabilidad interanual y el que ejerce mayor impacto en la agricultura de secano son las precipitaciones. Si el almacenaje de agua en el suelo es abundante, constituye una suerte de seguro para el consumo de los días siguientes exentos de precipitación. Este elemento climático adquiere aún más relevancia en las zonas subhúmedas secas y/o semiáridas, debido a su marcada variabilidad (Krepper *et al.*, 1987). Por ser el suelo el reservorio del agua precipitada que luego ha de ser utilizada por las plantas, es fundamental conocer la climatología del agua edáfica, ya que es uno de los principales factores que determinan la producción agrícola (Sala, 1992).

En las zonas semiáridas la producción agropecuaria depende fundamentalmente del balance hídrico. Este balance se calcula entre tres componentes: el agua que llega a la superficie del suelo, la demanda atmosférica y la caja o reservorio de agua, que son respectivamente la precipitación, la evapotranspiración y el almacenaje de agua en el suelo. Su cómputo permite conocer la disponibilidad hídrica del suelo (Spescha *et al.*, 2001). Burgos (1969) realizó estudios para la región pampeana utilizando el método de balance hídrico climático normal mensual de Thornthwaite & Mather (1955). Pascale & Damario (1977) utilizaron para sus estudios agroclimáticos la metodología de balance hídrico seriado y posteriormente con la misma metodo-

logía analizaron la variación del agua edáfica disponible en la región oriental de la Argentina (Pascale & Damario, 1983). El verdadero valor agregado que puede aportar el estudio del mismo es la posibilidad de evaluar el riesgo climático que traería aparejado la ocurrencia de eventos desfavorables y su relación con la producción de cultivos. Las sequías en la región pampeana son una de las principales adversidades que afectan, en forma recurrente y con extrema severidad, a las zonas destinadas a la agricultura.

La sequía agrícola ocurre cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas de agua del suelo, y las pérdidas debido a la evapotranspiración se combinan y causan una disminución considerable de los rendimientos de los cultivos y del forraje para el ganado (WMO, 1975). Numerosos autores las han estudiado utilizando distintas metodologías (Ravelo & Rondono, 1987; Scian & Donari, 1997; Ravelo & Pascale, 1997; Ravelo, 2000; Minetti *et al.*, 2004; Vergara *et al.*, 2008). Las alteraciones climáticas tales como excesos o deficiencias en las precipitaciones, temperaturas extremas y vientos fuertes entre otras, conducen a desastres o pérdidas de importancia en el sector agropecuario, si bien sus impactos no son exclusivos de dicho sector, sino que son multisectoriales. Dado que la ocurrencia de los mismos no puede ser evitada es necesario estudiarlas para permitir tomar medidas preventivas que reduzcan su efecto. Se considera riesgo agroclimático a la probabilidad de afectación del rendimiento o la calidad de los cultivos por efecto de fenómenos climáticos adversos, cuyos componentes son la probabilidad de ocurrencia del fenómeno climático adverso y la reducción estimada en los rendimientos por efecto del mismo.

En Argentina Basualdo *et al.* (2001); Forte Lay *et al.* (2006); de la Casa & Ovando (2005); Casagrande *et al.* (2008) se han abocado al estudio de este tema. El índice de riesgo agroclimático (RAC) propuesto por Basualdo *et al.* (2001) permite relacionar la climatología del agua del suelo involucrando distintas rotaciones de cultivos. El mismo tiene en cuenta la duración e intensidad de las condiciones de sequía condicional o absoluta a lo largo del año que son

las que representan un riesgo para los cultivos. El objetivo del presente trabajo fue calcular el índice de riesgo agroclimático (RAC) en veintiuna localidades ubicadas en la región oriental agropecuaria pampeana para las rotaciones barbecho-trigo, pastura de alfalfa-trigo, barbecho-girasol y verdeo de invierno-girasol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La provincia de La Pampa se ubica en la República Argentina, entre los 35° LS y los 39° 20' LS. La zona en estudio, comprende la región oriental de dicha provincia, donde se concentra la mayor parte de la producción de cultivos y pasturas en secano de la misma. Esta distribución depende en gran medida del ajuste del ciclo de los cultivos al período vegetativo positivo, entendiendo como tal al lapso durante el cual existe agua suficiente y se producen condiciones de temperatura adecuadas para el buen crecimiento y desarrollo vegetal (Casagrande & Vergara, 1996).

El clima es templado, la temperatura del aire registra fluctuaciones que definen distintas estaciones. Existen dos épocas bien diferenciadas, el verano caracterizado por el valor medio del mes más cálido (enero) y el invierno por el mes más frío (julio). La temperatura media del mes de enero es de 23.5 °C y la del mes de julio de 7.5 °C Las temperaturas máximas absolutas oscilan alrededor de 42.0 °C y las mínimas absolutas alrededor de -11.0 °C El período medio libre de heladas se extiende desde mediados de abril a mediados de octubre. El régimen térmico no resulta limitante para las actividades agropecuarias, por lo cual la lluvia resulta el elemento climático de mayor influencia en la producción agropecuaria de esta región (Sierra *et al.*, 1995 & 1996), tanto por la cantidad como por su distribución anual.

Dentro de la zona en estudio las precipitaciones varían entre 850 mm anuales al noreste y 650 mm al sudoeste, representando una franja transicional, en el sentido este-oeste, entre la pampa húmeda y la región semiárida. El 70 % de las lluvias se concentran en el semestre cálido. Los vientos predominantes son del NNE y SSO y su velocidad media anual es de 10 a 12 Km/h, con el momento de mayor intensidad a la

salida del invierno y comienzo de primavera (Casagrande & Vergara, 1996). Desde el punto de vista edáfico, la región en estudio puede dividirse en tres subregiones. La subregión nordeste posee suelos profundos con secuencias de horizontes A, AC y C, textura arenoso franca, con arena como partícula principal en porcentajes que pueden llegar al 80 %, alrededor de 1,7 % de materia orgánica y una capacidad de retención de agua de 11 a 15 %. Son susceptibles a erosión eólica y en menor grado a la hídrica.

La subregión centro occidental posee suelos de profundidad variable por la presencia de un manto de tosca de espesor irregular desde la superficie a 1.40 m de profundidad. La secuencia de horizontes es A, AC, C1, C2Ca, textura franco arenosa a franco con contenidos de arena que no exceden el 60 % y un incremento de partículas menores especialmente limo. Los contenidos de materia orgánica oscilan entre 1,4 % a 1,8 % y su capacidad de retención de agua es de aproximadamente 19 %.

La subregión sur posee suelos que son una mezcla de los descriptos anteriormente. La diferencia radica en la posición relativa en el paisaje según se ubiquen en los valles, pendientes o planos de meseta. Todos los suelos poseen restricciones que demandan un uso conservacionista para neutralizar tanto procesos erosivos (eólicos e hídricos) como degradativos (labranza y monocultura) (Fernandez, 1998).

El índice de riesgo agroclimático (RAC) se basa en el estudio de la climatología el agua del suelo simulando diferentes planteos rotacionales. El RAC toma valores entre 0 (riesgo mínimo) y 1 (riesgo máximo). Para obtenerlo se calculó el contenido de reserva de agua útil en el suelo (diferencia entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente) para cada una de las 36 décadas (períodos de diez días) que conforman el año. Este procedimiento se realizó simulando dos planteos rotacionales en secano que involucran a un cultivo anual invernal (barbecho-trigo) y a una pastura perenne (alfalfa-trigo) y otros dos considerando un cultivo anual de ciclo estival (barbecho-girasol y verdeo de invierno-girasol). Se utilizó el software AGROGUA (Forte Lay *et al.*, 1996) que realiza un balance hídrico tal que los excesos son elimina-

dos del sistema y representa bien las zonas con mecanismos eficientes de drenaje. Se analizaron veintiuna localidades situadas en la región oriental agropecuaria pampeana agrupadas según se sitúen en la zona nor-noreste (N-NE) y centro-sur (C-S) de la misma.

Se emplearon datos diarios pluviométricos (1961-2010), recopilados por la Facultad de Agronomía, el INTA, Administración Provincial del Agua de La Pampa y Servicio Meteorológico Nacional. La ETP fue calculada por el software AGROAGUA mediante la fórmula Penman FAO (Damario & Cattáneo, 1982). Se consideró un suelo Haplustol Entico con una capacidad de campo (CC) de 200 milímetros, hasta 1 metro de profundidad. El punto de marchitez permanente (PMP) es de 80 milímetros (Fernández *et al.*, 2003). Para trigo se usaron valores diarios de Kc (coeficiente de cultivo) determinados por Dardanelli *et al.* (2003) y para girasol los determinados por Gardiol *et al.* (2002).

Para el cálculo de este índice propuesto por Basualdo *et al.* (2001) se tuvo en cuenta:

$$RAC = 0.5 [(N_1/P) + (1 - N_2/50)]$$

N_1 : cantidad de décadas con reserva de agua útil inferior al 50% dentro del período considerado "P" (P: cantidad de décadas al año sobre las que se hará la determinación del riesgo agroclimático según la rotación planteada).

N_2 : promedio de los valores decádicos de reserva de agua útil en las N_1 décadas en sequía condicional o absoluta.

Se consideró sequía condicional a la mitad del agua útil a capacidad de campo que coincide con el límite mínimo de la humedad óptima. El nivel de sequía absoluta está determinado por el punto de marchitez permanente. En la fórmula del RAC el primer término del corchete puede tomar valores entre 0 y 1, ya que N_1 es menor o igual a P. El resultado de este término será 1 cuando todo el período considerado se encuentre en niveles de sequía condicional o absoluta (riesgo muy alto) y será cada vez más pequeño al disminuir la cantidad de décadas en estas condiciones. El segundo término dentro del corchete también tomará valores entre 0 y 1, ya que N_2 es el promedio de N_1 valores menores que 50. Si el promedio de las reservas menores que 50 %

es bajo, este término dará un resultado cercano a 1 (riesgo muy alto). Si durante los meses de reserva permanecieran muy poco por debajo del 50 % este término daría cercano a 0. Si no se observan décadas con niveles de reserva inferiores a 50 % a lo largo de todo el período considerado, entonces RAC= 0 (riesgo mínimo). En cambio, en un caso extremo, todo el período considerado se hallará en niveles de sequía absoluta, con lo cual $N_1 = P$ y $N_2 = 0$ y el índice RAC tomará valor de 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cálculo del índice de riesgo agroclimático (RAC) permitió relacionar la climatología del agua del suelo involucrando distintas rotaciones de cultivos en las veintidós localidades estudia-

Tabla1. Valores del índice de riesgo agroclimático (RAC) para cada localidad y planteo rotacional.

Table1. Values of climate risk index (RAC) for each location and rotation schedule.

	Localidad	VI-G	B-G	B-T	A-T
Zona N-NE	G. Villegas	0.4	0.4	0.1	0.2
	Larroudé	0.4	0.4	0.2	0.3
	H. Lagos	0.4	0.4	0.2	0.3
	H. Renancó	0.4	0.4	0.2	0.3
	Realicó	0.4	0.4	0.2	0.3
	Rancul	0.4	0.4	0.2	0.4
	I. Alvear	0.4	0.4	0.2	0.3
	G. Pico	0.4	0.4	0.2	0.3
	Q. Quemú	0.4	0.4	0.2	0.3
	E. Castex	0.5	0.4	0.3	0.3
Zona C-S	Rucanelo	0.5	0.5	0.4	0.6
	Winifreda	0.5	0.5	0.3	0.4
	Catriló	0.5	0.5	0.2	0.3
	Anguil	0.5	0.5	0.3	0.4
	S. Rosa	0.5	0.5	0.3	0.5
	Macachín	0.5	0.5	0.2	0.4
	G. Acha	0.5	0.5	0.4	0.6
	G. Campos	0.5	0.5	0.2	0.5
	Guatraché	0.5	0.5	0.2	0.4
	Bordenave	0.5	0.5	0.2	0.4
Bernasconi	0.5	0.5	0.3	0.6	

Referencias. VI-G: verdeo de invierno-girasol, B-G: barbecho-girasol, B-T: barbecho - trigo, A-T: alfalfa-trigo

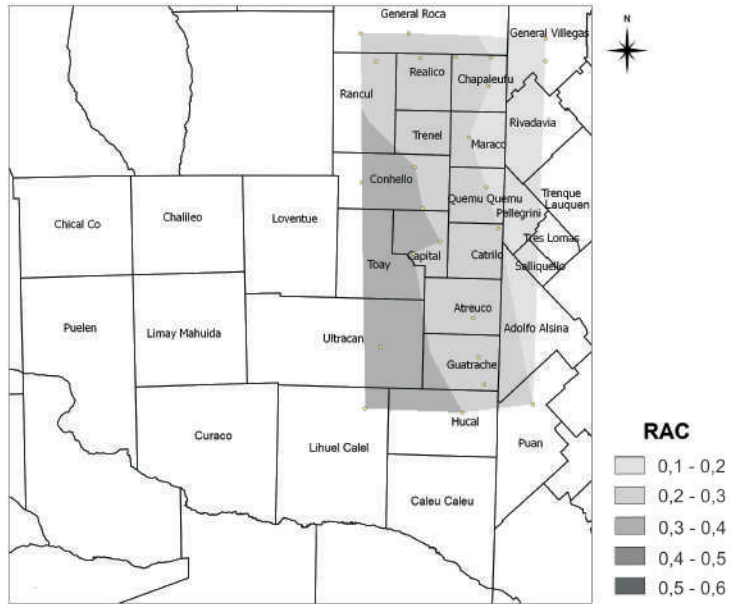


Figura 1. RAC barbecho-trigo.
Figure 1. RAC fallow land-wheat crop.

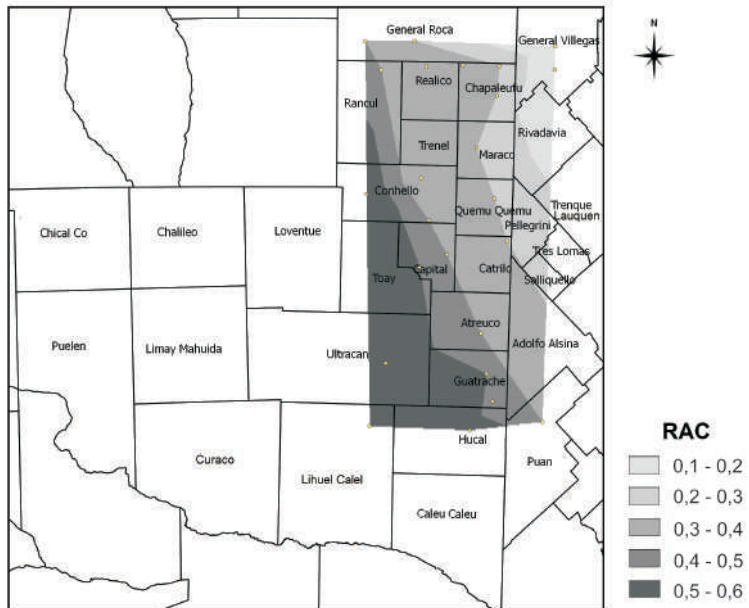


Figura 2. RAC alfalfa-trigo.
Figure 2. RAC alfalfa pasture-wheat crop.

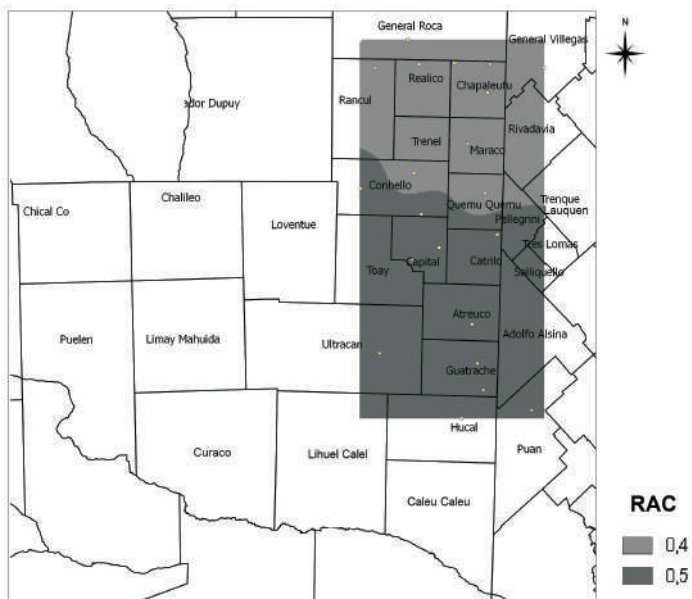


Figura 3. RAC barbecho-girasol.
Figure 3. RAC fallow land-sunflower crop.

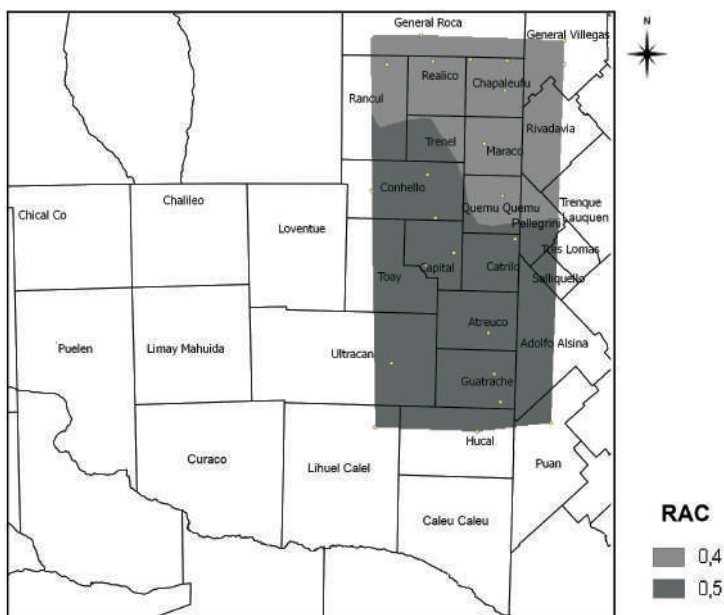


Figura 4. RAC verdeo de invierno-girasol.
Figure 4. RAC winter annual grass pasture-sunflower crop.

das. En las cuatro rotaciones analizadas a lo largo de todas las décadas que involucra cada planteo, se presentaron condiciones de sequía condicional o absoluta dentro de la época del año correspondiente al semestre cálido.

En todos los planteos rotacionales la zona norte fue la que presentó menores riesgos lo que se condice con su ubicación geográfica más favorable dentro de la región oriental agropecuaria pampeana. En ningún planteo rotacional y para ninguna localidad se observaron RAC mayores a 0,6, que significaría estar cercanos a valores de riesgo muy alto (Tabla 1).

Para la rotación barbecho-trigo (Fig. 1) el área este de la zona en estudio es la más favorable tornándose más desfavorable hacia el oeste, aunque con valores de RAC menores a 0,5. Se observó un riesgo mínimo (RAC: 0,1) en General Villegas, mientras que Rucanelo presentó el mayor riesgo (RAC: 0,4).

En el planteo rotacional alfalfa - trigo (Fig. 2) el área más favorable abarca una pequeña extensión en el noreste provincial y es más desfavorable hacia el sudoeste de La Pampa. El riesgo fue menor en General Villegas (RAC: 0,2), en tanto que el mayor riesgo se observó en Rucanelo, General Acha y Bernasconi (RAC: 0,6).

En las rotaciones barbecho - girasol (Fig. 3) y verdeo de invierno-girasol(Fig. 4) el área norte de la zona estudiada presenta menor riesgo en ambos casos. No se observan RAC tan bajos como en los dos planteos rotacionales que involucran al trigo.

Los menores riesgos se presentaron en las localidades del nor-noreste (RAC: 0,4) y los mayores en las ubicadas en el centro-sur de la región en estudio (RAC: 0,5), a excepción de la localidad de Quemú Quemú (RAC: 0,4).

CONCLUSIONES

El déficit hídrico en la región oriental de la provincia de La Pampa es el resultado de dos componentes: el climático que determina el riesgo de que se produzcan anomalías hídricas (pluviométricas) y el manejo del suelo por parte del productor agropecuario que define la fragilidad de los sistemas productivos ante este riesgo.

Los planteos rotacionales que involucran a un cultivo anual invernal (trigo) y los que consideran un cultivo anual estival (girasol) presentan mayor riesgo agroclimático de deficiencia hídrica en el área centro-sur que en la del nor-nor-este de la zona estudiada.

La rotación alfalfa-trigo, en ambas zonas se observa como más riesgosa que la rotación barbecho-trigo. Para el cultivo de trigo, el barbecho otoñal representa un aporte positivo para disminuir los riesgos de deficiencia de agua en el suelo en momentos críticos como es la floración.

En el caso del cultivo de girasol, esta técnica no tendría alta eficiencia desde el punto de vista hídrico. El cultivo estival en esta zona depende del ambiente climático propio de la estación, especialmente durante la floración, época de mayor demanda por parte del cultivo, que en nuestra región coincide con los períodos más negativos del balance hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Basualdo A.B., J.A. Forte Lay, G. Heinzenzenknecht & J. Aiello. 2001. Determinación de un índice de riesgo agroclimático para cultivos en Argentina. CONGREGMET VIII. Buenos Aires, Argentina.
- Burgos J.J. 1969. El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. Flora de la provincia de Buenos Aires. Colección Científica INTA. 4: 33-99.
- Casagrande G.A., G. Vergara, P. Arnaiz, J. Forte Lay & F. García. 2008. Cálculo de un índice de riesgo agroclimático para cultivos de la región occidental pampeana. Argentina. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. San Salvador de Jujuy. pp. 245-246.
- Casagrande G.A. & G.T. Vergara. 1996. Caracterización climática de la región. *En*: Labranzas en la región semiárida argentina (D.E. Buschiazzo, J.L. Panigatti & F.J. Babinec eds.). pp. 11-18.
- Damario E.A. & C. Cattáneo. 1982. Estimación climática de la evapotranspiración potencial en la Argentina por el método de Penman. *Argentina. Rev. Fac. Agr.* 3(3).
- Dardanelli J., D. Collino, M.E. Otegui & V.O. Sadrás. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. *En*: Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para

- su Manejo (E. Satorre, R. Benech-Anold, G.A. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M.E. Otegui & R. Savin eds.). Editorial Facultad de Agronomía. pp. 377-442.
- De la Casa, A. & G. Ovando. 2005. Análisis del riesgo de estrés hídrico en trigo en distintos sectores de la provincia de Córdoba, Argentina, utilizando la distribución de probabilidad beta. CONGREGMET IX Buenos Aires, Argentina. 105 p.
- Fernández J.C. 1998. Caracterización edáfica del cultivo de trigo en la provincia de La Pampa. Boletín de Divulgación Técnica N° 58 INTA-EEA Anguil, Argentina. pp. 7-18.
- Fernández J.C., A. Quiroga & G.A. Casagrande. 2003. Caracterización agroedáfica y agroclimática del área triguera de la provincia de La Pampa. Publicación técnica N° 76. INTA EEA Anguil, Argentina.
- Forte Lay J., O. Scarpati, L. Spescha & A. Capriolo. 2006. Drought risk in the pampean region using soil water storage analysis. Environmental change and rational water use. Buenos Aires, Argentina. pp.146-168.
- Forte Lay J.A., J.L. Aiello & J. Kuba. 1996. Software AGROAGUA 4.1. *Agrosoft*. p. 4.
- Gardioli J.M., A. Della Maggiora & A. Irigoyen. 2002. Curvas de coeficientes de cultivo de maíz, girasol y soja. Actas de la IX Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerías. Córdoba, Argentina.
- Krepper C.M., B.V. Scian & J. Pierini. 1987. Variabilidad de la precipitación en la región sudoccidental Pampeana. II Congreso Interamericano de Meteorología. V Congreso Argentino de meteorología. Anales. 12.2.1-12.2.5.
- Ledesma N.R. 1979. Cuadernos de Cultura N° 17. Santiago del Estero, Argentina.
- Minetti J.L., W.M. Vargas, A.G. Poblete, L.R. Acuna & G. Casagrande. 2004. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-99. *Atmósfera* 16: 119-135.
- Pascale A.J. & E.A. Damario 1977. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Rev. Fac. Agr. La Plata* (3º época) 53(1-2): 15-54.
- Pascale A.J. & E.A. Damario. 1983. Variación del agua edáfica para los cultivos en la región Oriental de la Argentina. *Rev. Fac. Agr. UBA*. 4(2): 141-181.
- Ravelo A.C. 2000. Caracterización agroclimática de las sequías extremas en la pradera pampeana. *Rev. Fac. Agr.* 20(2):187-192.
- Ravelo A.C. & A.J. Pascale. 1997. Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. *Rev. Fac. Agr. UBA* 17(1): 101-105.
- Ravelo A.C. & V.H. Rotondo. 1987. Caracterización climática de las sequías en Río Cuarto, Córdoba. Actas de la III Reunión Nacional de Agrometeorología. Córdoba, Argentina. pp. 165-169.
- Sala O.E. 1992. Long-term soil water dynamics in the shortgrass steppe. *Ecology* 73(4): 1175-1181.
- Scian B. & M. Donnari. 1997. Restrospective analysis of the Palmer drought severity index in the semi-arid Pampas region, Argentina. *Inter. J. Climatology* 17: 313-332.
- Sierra E.M; M. Conde Prat, S. Perez & C. Bustos. 1996. La migración de cultivos de granos en la Argentina y su posible relación con cambios pluviométricos 1970-94. En: VII Congreso Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina. pp. 51-52.
- Sierra E.M., R. Hurtado, L. Spescha, I. Barnatan & C. Messina. 1995. Corrimiento de las isoyetas semestrales medias decenales (1941-1990) en la región pampeana. *Rev. Fac. Agr.* 15(2-3): 137-143.
- Spescha L., R. Hurtado & J. Gardiol. 2001. Climatología del agua en el suelo para el cultivo de maíz en la zona de Balcarce (Buenos Aires, Argentina). *Rev. meteorol. agrometeorología* 1(1) 43-49.
- Thornthwaite C.W. & J.R. Mather. 1955. The water balance. Publications in Climatology Drexel Inst. of Tech, New Jersey, USA. 104 p.
- Vergara G., G. Casagrande & P. Arnaiz. 2008. Caracterización agroclimática de las sequías (1970/2005) en tres localidades de la provincia de la Pampa, Argentina. *Rev. Científica Agron. Trop.* 58(1): 77-80.
- WMO. 1975. Drought and Agriculture. Technical Note 138. WMO- N°392. Geneva.