

## Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay

Cruz Gabriela<sup>1</sup>, Baethgen Walter<sup>1,2</sup>, Picasso Valentín<sup>1</sup>, Terra Rafael<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad Agronomía, Universidad de la República. Garzón 780, CP 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: gcruz@fagro.edu.uy*

<sup>2</sup> *International Research Institute, Columbia University, Lamont Campus. Palisades NY, United States.*

<sup>3</sup> *Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Julio Herrera y Reissig 565, 11300 Montevideo, Uruguay.*

Recibido: 23/9/13 Aceptado: 5/3/14

### Resumen

Las sequías agronómicas son un problema histórico y de creciente importancia para la ganadería pastoril del Uruguay y la región. Sin embargo, no está caracterizada para Uruguay la evolución histórica de este fenómeno y sus impactos. El índice de bienestar hídrico (IBH) es la relación entre la evapotranspiración real de una pastura y la evapotranspiración potencial y se utiliza para caracterizar las condiciones hídricas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la frecuencia, intensidad y duración de sequías agronómicas en dos localidades de importancia ganadera del país: Salto (31°40'S; 57°97'O) y Treinta y Tres (33°22'S; 54°39'O). Se utilizó información mensual observada de precipitación (1948-2010) y de evapotranspiración potencial climatológica (1961-1990), para realizar balances hídricos en dos suelos. Se calculó el IBH y se caracterizaron los eventos de deficiencias hídricas para todo el año y por estaciones. Se realizó el análisis de Mann-Kendall para determinar la existencia de tendencias. En verano fue más frecuente la situación de restricción de agua para todos los suelos y lugares. En primavera se encontraron diferencias entre los suelos y en otoño se observó una situación más restrictiva en Treinta y Tres. La probabilidad de ocurrencia de sequías fue inferior al 15 % para cualquier época y sitio. La mayoría de los períodos de sequías afectaron a ambos lugares, presentando una duración de 4 ó 5 meses. El análisis de Mann-Kendall mostró que no existe una tendencia de aumento de sequías ni de su intensidad en los últimos 62 años.

**Palabras clave:** deficiencias hídricas, sequías, tendencias hídricas

### Summary

## Analysis of Agronomic Drought of two Livestock Production Regions in Uruguay

Agronomic droughts are a historical problem of increasing concern for grazing livestock production in Uruguay and the region. However, the historical evolution of this phenomenon and its impacts are not characterized for Uruguay. The agrohydropotential value (AHP) is the ratio between real evapotranspiration of a pasture and the potential evapotranspiration, and it is used to characterize its hydric condition. The objective of this study was to characterize the frequency, intensity, and duration of agronomic droughts in two locations of importance for livestock production in Uruguay: Salto (31°40'S; 57°97'W) and Treinta y Tres (33°22'S; 54°39'W). Monthly rainfall (1948-2010) and climate potential evapotranspiration (1961-1990) data were used to calculate water balances for two soils. The AHP was calculated and annual and seasonal water deficits were characterized. A Mann-Kendall test was conducted to determine the existence of trends. In summer, water deficits were more frequent for all soils and locations. In spring differences were found between soils, and in the fall there was a more restrictive situation in Treinta y Tres. The probability of drought occurrence was less than 15 % for all seasons and locations. Most drought periods affected both locations, with 4 to 5 months duration. The Mann-Kendall test showed no significant trends in drought frequency or intensity in the last 62 years.

**Keywords:** water deficits, drought, hydric trends

## Introducción

La ganadería pastoril sobre campo natural es la principal actividad económica del Uruguay. Más del 70 % de la superficie del país es campo natural que integra uno de los biomas de praderas templadas más extenso y con mayor diversidad genética del mundo (Lattera y Rivas, 2005).

Las sequías han sido identificadas como la amenaza de origen meteorológico de mayor impacto en los sistemas ganaderos pastoriles de Uruguay (Cruz *et al.*, 2007; MGAP y FAO, 2013). Además existe la percepción entre productores y técnicos del sector ganadero que las sequías se han incrementado en los últimos años (MGAP y FAO, 2013). Estimaciones recientes señalan que el impacto negativo de la sequía 2008/2009 fue mayor en el conjunto de los sectores económicos y factores de producción que en el propio sector ganadero (Paolino *et al.*, 2010). Esto se explica porque los efectos de una crisis en el sector ganadero presentan un factor multiplicador de tres en la economía general del país dados sus efectos en los sectores manufacturero y agroindustrial. Adicionalmente, los efectos de la sequía sobre el ciclo ganadero, especialmente en el sector de cría, duran varios años.

Uruguay presenta un clima templado sin una estación seca. En promedio las precipitaciones se distribuyen homogéneamente a lo largo del año aunque la variabilidad interanual de las lluvias es muy elevada, presentando coeficientes de variación mensual superiores al 50 % en todo el territorio. En cambio la evapotranspiración potencial (ETP) se caracteriza por una fuerte variación estacional con un máximo en verano y un mínimo en invierno (con una relación media de 7:1) en respuesta a la evolución anual del balance de radiación. Sin embargo, la variación entre años de la ETP es baja si se compara con su variación entre estaciones del año y mucho menor que la variabilidad interanual de la lluvia (Bettolli *et al.*, 2010).

En el contexto del cambio climático (CC) global, los modelos de circulación general (MGC) para la región son consistentes en marcar un aumento sostenido de temperatura para horizontes temporales de 50 y 80 años (Giménez, 2006; Bettolli *et al.*, 2010), lo que provocaría aumentos en la demanda hídrica atmosférica. Sin embargo, los MGC no han mostrado un ajuste razonable entre sus resultados y las observaciones para representar tendencias pasadas de precipitaciones para el Sureste de Sudamérica (com. pers. Paula González, IRI - Universidad de Columbia, 2013) y menos aún han podido representar la variabilidad de las precipitaciones en frecuencias decadales.

La inferencia estadística permite utilizar objetivamente el registro instrumental disponible para predecir el comportamiento futuro de la lluvia con niveles de incertidumbre preestablecidos, asumiendo que su comportamiento histórico se mantendrá en el futuro cercano. El concepto de sequía agronómica integra la capacidad de almacenamiento de agua del suelo en un determinado sitio y se produce cuando no hay suficiente humedad en el mismo para permitir el crecimiento normal de un cultivo o pastura. Para el clima de Uruguay es esperable la ocurrencia de deficiencias de agua en verano de acuerdo a la estacionalidad mencionada de la ETP, por lo que no toda deficiencia de agua puede considerarse «sequía». El índice de potencial agrohidrológico o de bienestar hídrico (IBH) utiliza resultados del balance hídrico del suelo para caracterizar las condiciones hídricas en contextos agrícolas (Petrasovits, 1990). Según este autor, el potencial agrohidrológico es la relación entre la evapotranspiración real de un cultivo (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP), por lo tanto su valor máximo es la unidad. El IBH ha sido elaborado para aplicarse a escala de cultivo y utilizarse como herramienta de soporte para la toma de decisiones. Para las condiciones de Uruguay, en particular para campo natural de las regiones Noroeste y Sureste ha sido ajustada la escala de Petrasovits (Cruz *et al.*, 2012) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Categorías de severidad hídrica para campo natural de Uruguay.

Intervalo de IBH	Efecto de la escasez de agua
1 – 0,7	Escasez teórica. Las plantas reciben agua de forma continua
0,7 – 0,5	Restricción paulatina de la capacidad de satisfacer la demanda de agua
0,5 – 0,2	Suministro de agua periódico y restrictivo. Escasez que provoca pérdidas de biomasa
< 0,2	Grave estrés hídrico

En este estudio se consideraron dos regiones donde los suelos dominantes presentan baja capacidad de retención de agua, razón por la cual son considerados de menor aptitud pastoril (Figura 1). A la vez, estos sitios revisten importancia socioeconómica ya que es donde se desarrolla la mayor parte de la ganadería de cría del país.

El objetivo de este trabajo fue analizar la frecuencia, intensidad y duración de las sequías agronómicas en las



**Figura 1.** Regiones de elevada sensibilidad a la deficiencia hídrica representadas por las áreas sombreadas (MGAP, 2005).

regiones noroeste y sureste de Uruguay y determinar si esas características han cambiado en los últimos 62 años. Esta investigación constituye una primera aproximación a la temática, donde el énfasis está en la caracterización regional y temporal de sequías agronómicas, sin pretender un análisis exhaustivo del fenómeno.

### Materiales y métodos

Se realizaron balances hídricos utilizando la metodología de Thornthwaite y Mather (1957) para el período 1948-2010 utilizando información mensual de precipitaciones provenientes de estaciones meteorológicas de la Dirección Nacional de Meteorología, ubicadas en Salto (Noroeste; 31°40'S; 57°97'O) y en Treinta y Tres (Este; 33°22'S; 54°39'O). La estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) se realizó utilizando la propuesta de Penman (FAO, 1979). Debido a la falta de información disponible para la estimación de la ETP mensual en cada año, el cálculo se realizó con los datos promedio del período 1961-1990 en ambos sitios, repitiendo esta información para cada año particular de la serie trabajada. Los niveles de ETP en Uruguay están básicamente explicados por el balance de radiación (Cruz *et al.*, 2000), lo que le imprime una elevada variación a lo largo del año y una relativamente baja variabilidad interanual. En este trabajo se justifica esta simplificación ya que se conoce que la variable climática con mayor

variabilidad interanual es la lluvia. Por otro lado, también es conocido que otra variable importante en relación a los riesgos de sequía es el tipo de suelo y su capacidad de almacenar agua. El control de calidad de la información meteorológica se realizó utilizando el software RCLimDex (desarrollado para ambiente R) y complementado con el procedimiento (QC) (Aguilar *et al.*, 2010).

La capacidad de los suelos de almacenaje de agua disponible para las pasturas fue estimada según Fernández (1979) para los suelos dominantes de cada región de estudio (MGAP, 2005). Se trabajó con cuatro tipos de suelo. En Salto se consideraron dos: un Litosol rojo (capacidad de almacenaje de agua disponible de 20 mm y materia orgánica 5,2 %) y Brunosol (capacidad de almacenaje de agua disponible de 50 mm y materia orgánica 6,9 %). En Treinta y Tres se trabajó con un Argisol (capacidad de almacenaje de agua disponible de 50 mm y materia orgánica 2,8 %) (MGAP, 2005). El cuarto suelo utilizado en el estudio fue el mismo Argisol de Treinta y Tres al que se le asignó una capacidad de almacenaje de agua disponible de 20 mm para establecer la comparación con el suelo superficial de Salto. A partir de los resultados del balance hídrico en cada región se calculó el índice de bienestar hídrico (IBH) y se identificaron los meses en que sus valores fueron inferiores a 0,7 y a 0,2. La utilización de umbrales permite evaluar diferentes intensidades de deficiencias hídricas. Se resumieron estos resultados calculando la frecuencia de ocurrencia de meses con  $IBH < 0,7$  y con  $IBH < 0,2$  en cada estación del año para los dos sitios. Además, a partir de los meses con valores de  $IBH < 0,2$  se identificaron secuencias de al menos tres meses muy secos (valores de IBH entre 0 y 0,4) para obtener información acerca de la duración de los eventos.

Como primera aproximación, la existencia estadística de tendencias de déficit ( $1-IBH$ ) se verificó aplicando el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975) a las series temporales de ambos lugares y para cada suelo. Se consideraron todos los meses consecutivos de cada serie de deficiencias (desde enero de 1948 hasta diciembre de 2010) y luego también se realizó el análisis por estaciones (primavera, verano y otoño). Adicionalmente, se evaluaron tendencias de déficit por debajo de los umbrales de IBH correspondientes a 0,2, 0,5 y 0,7. Para esto se corrigieron los valores de cada serie de IBH de acuerdo al siguiente criterio: Si  $[(1-IBH) < \text{Umbral}]$  se adjudica el valor  $(1-IBH)$ ; Si  $[(1-IBH) > \text{Umbral}]$  se adjudica el valor 0 pues solo interesan los valores por debajo de cada umbral. Se consideró primavera a los meses de setiembre, octubre y noviembre; verano a diciembre enero y febrero; otoño a marzo, abril y mayo e invierno a los meses de junio, julio y agosto.

## Resultados y discusión

En verano resultó más frecuente la situación de restricción de agua que la de satisfacción hídrica para todos los suelos y lugares (Cuadro 2) y la mayoría de los meses presentaron restricción hídrica. En primavera la situación de restricción se presentó aproximadamente en un tercio de los meses en los suelos superficiales, mientras que en los suelos de mayor capacidad de retención de agua esta situación se verificó en menos del 15 % de los meses. La diferencia responde a que en invierno, que constituye el período de recarga, es mayor la capacidad de almacenar agua de los suelos medios y profundos. El aumento en el uso del agua en primavera respondiendo al incremento de la demanda atmosférica resulta en parte satisfecho por el almacenaje de agua del invierno. Análisis más exhaustivos como de L-momentos para un análisis regional de frecuen-

cias (UNESCO, 2010), no fueron incluidos en este trabajo aunque se entiende que ameritan un estudio posterior.

La situación del otoño no presenta diferencias entre los suelos, ya que tanto en suelos superficiales como profundos se depende de las precipitaciones de esa misma estación debido a que frecuentemente en el verano se agota el almacenaje de agua. Sin embargo, el otoño marca una diferencia de comportamiento agrohidrológico entre las localidades, siendo más restrictiva la situación en Treinta y Tres que en Salto (25 % vs 11 %) (Cuadro 2). Al comparar la distribución de las precipitaciones dentro del año en todo el período, se constatan menores valores de lluvia durante el otoño en Treinta y Tres respecto a Salto, sobre todo en marzo y abril (Cuadro 3).

La probabilidad de ocurrencia de valores que representan grave estrés hídrico fue inferior al 15 % para cualquier época y sitio (Cuadro 4). En la frecuencia de valores criti-

**Cuadro 2.** Frecuencia empírica de ocurrencia (%) de meses con restricción hídrica ( $IBH < 0,7$ ) según tipo de suelo y estación del año en Salto y Treinta y Tres. Período 1948-2010.

Estación del año	Salto		Treinta y Tres	
	Suelo Medio	Suelo Superficial	Suelo Medio	Suelo Superficial
Verano	42	63	51	61
Otoño	9	11	24	25
Invierno	3	14	2	5
Primavera	13	32	14	35

**Cuadro 3.** Mediana mensual de precipitación en Salto y Treinta y Tres (1948-2010).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Salto	105	95	133	105	71	80	48	60	79	109	99	97
Treinta y Tres	101	92	82	90	90	109	95	100	107	91	70	81

**Cuadro 4.** Frecuencia de ocurrencia (%) de meses con grave estrés hídrico ( $IBH < 0,2$ ) según tipo de suelo y estación del año en Salto y Treinta y Tres. Período 1948-2010.

Estación del año	Salto		Treinta y Tres	
	Suelo Medio	Suelo Superficial	Suelo Medio	Suelo Superficial
Verano	4,8	11,8	4,8	12,9
Otoño	1,6	2,2	2,2	3,8
Invierno	0	1,1	0	0,5
Primavera	0,5	3,2	0	3,2

**Cuadro 5.** Valor de  $(p > \pm)$  obtenido con el test de Mann-Kendall y signo de la tendencia (+/-) para las series de déficit hídrico y déficit por debajo de los umbrales 0,7; 0,5 y 0,2 en cada estación del año. Suelos superficiales (Sup) y medios (Med) de Salto (a) y Treinta y Tres (b).

a) Salto	Primavera		Verano		Otoño	
	Sup	Med	Sup	Med	Sup	Med
Déficit	0,786 <sup>(-)</sup>	0,873 <sup>(-)</sup>	0,138 <sup>(-)</sup>	0,075 <sup>(-)</sup>	0,866 <sup>(-)</sup>	0,974 <sup>(-)</sup>
U 0,7	0,528 <sup>(-)</sup>	0,653 <sup>(-)</sup>	0,178 <sup>(-)</sup>	0,048 <sup>(-)*</sup>	0,982 <sup>(+)</sup>	0,851 <sup>(+)</sup>
U 0,5	0,618 <sup>(-)</sup>	0,694 <sup>(-)</sup>	0,018 <sup>(-)*</sup>	0,028 <sup>(-)*</sup>	0,483 <sup>(-)</sup>	0,402 <sup>(-)</sup>
U 0,2	0,237 <sup>(-)</sup>	0,267 <sup>(+)</sup>	0,025 <sup>(-)*</sup>	0,283 <sup>(-)</sup>	0,940 <sup>(+)</sup>	0,688 <sup>(+)</sup>
b) Treinta y Tres	Sup	Med	Sup	Med	Sup	Med
Déficit	0,113 <sup>(-)</sup>	0,177 <sup>(-)</sup>	0,134 <sup>(-)</sup>	0,055 <sup>(-)</sup>	0,215 <sup>(-)</sup>	0,164 <sup>(-)</sup>
U 0,7	0,015 <sup>(-)*</sup>	0,012 <sup>(-)*</sup>	0,203 <sup>(-)</sup>	0,091 <sup>(-)</sup>	0,187 <sup>(-)</sup>	0,166 <sup>(-)</sup>
U 0,5	0,015 <sup>(-)*</sup>	0,057 <sup>(-)</sup>	0,191 <sup>(-)</sup>	0,169 <sup>(-)</sup>	0,285 <sup>(-)</sup>	0,096 <sup>(-)</sup>
U 0,2	0,004 <sup>(-)**</sup>	s/o	0,269 <sup>(-)</sup>	0,531 <sup>(-)</sup>	0,436 <sup>(-)</sup>	0,057 <sup>(-)</sup>

s/o: sin ocurrencia    \*significación al 95 %    \*\*significación al 99 %  
 (-): tendencia de disminución de déficit hídrico    (+): tendencia de aumento de déficit hídrico

cos (IBH<0,2) se encontraron diferencias debidas a los suelos y no se visualizaron diferencias entre los sitios. Análisis complementarios para este tipo de evento extremo como el planteado en González y Fernández (2008), también ameritan desarrollarse en un próximo estudio.

El test de Mann-Kendall no mostró tendencias significativas en la ocurrencia de déficit para las series completas (todos los meses corridos incluyendo los de invierno) para los dos suelos y lugares. Los resultados obtenidos por estaciones con el test de Mann-Kendall se presentan en el Cuadro 5.

Los resultados indican que no existe una tendencia de aumento en las deficiencias hídricas ni en la intensidad de las mismas en los últimos años, por lo que es esperable que las deficiencias extremas o sequías agronómicas (IBH<0,2) presenten la tendencia histórica para los dos suelos en ambos sitios. Incluso para verano en Salto y para primavera en Treinta y Tres, se observó una tendencia estadísticamente significativa de disminución de la intensidad de las deficiencias hídricas (Cuadro 5). Esto podría explicarse por el aumento sostenido de las lluvias en Uruguay y la región reportado por Giménez (2006) y Bettolli *et al.* (2010).

Las diferencias encontradas entre los suelos en Salto y en Treinta y Tres para las estaciones del año en que se observó tendencia significativa de disminución de deficiencias (Cuadro 5) responden al bajo número de casos en cada situación. En el suelo medio de Treinta y Tres en primavera quedaron muy pocos eventos por debajo de los umbrales más críticos: existieron sólo siete casos donde se registraron valores de IBH<0,5 y ningún caso con valores de IBH<0,2. En el verano de Salto para el suelo medio existieron sólo 10 casos con valores de IBH<0,2, y ese reducido tamaño de muestra no permite obtener una conclusión muy robusta sobre la tendencia.

Para el resto de los casos la tendencia resultó no significativa. De estos, sólo se presentan algunas situaciones con una evolución temporal de signo positivo (aumento de las deficiencias hídricas) en Salto, mientras que en Treinta y Tres no se observó ningún caso en que esto ocurriera (Cuadro 5).

En cuanto a las secuencias de meses muy secos, la gran mayoría de los períodos de grave estrés hídrico afectó a ambos lugares (cinco eventos), presentando una duración de cuatro o cinco meses (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Secuencias muy secas de al menos 3 meses de duración ( $0 < IBH < 0,4$ ). Período 1948 –2010.

Sitio	Año	Meses*	Duración (meses)
Ambos	1949/50	NDEFM	5
	1959/60	DEFMA	5
	1964/65	DEFM	4
	1988/89	DEFMA	5
	1999/00	ONDE	4
Salto	1955	OND	3
Treinta y Tres	1984/85	DEF	3
	2004/05	DEF	3

\*Meses: E: enero, F: febrero, M: marzo, A: abril, O: octubre, N: noviembre, D: diciembre

De los eventos de carácter local (en Salto o en Treinta y Tres), se observa que la duración no superó los tres meses y que en Treinta y Tres se detectaron situaciones extremas para períodos más recientes (Cuadro 6).

En el evento ocurrido en 2008/09, mencionado en la introducción del trabajo (Paolino *et al.*, 2010), se observaron secuencias con IBH de 0,3 a 0,6 (noviembre a enero), por lo que el mismo no se incluyó en la Tabla 6 al no cumplir el criterio para definirlo como extremo ( $0 < IBH < 0,4$ ). Sin embargo, se ha considerado a esa sequía como prolongada, extensa e intensa (Paolino *et al.*, 2010). Un elemento a considerar es la evolución temporal de la ETP, aspecto que no fue incluido en este análisis ya que se trabajó con los promedios climáticos de ETP (1960-1990) debido a la falta de información disponible (ver ítem de Materiales y métodos). Para la localidad de Treinta y Tres se ha reportado una tendencia significativa de aumento en los niveles de ETP para los períodos de octubre-febrero y enero-mayo para 39 años (estimado según Penman desde 1973 a 2011) (MGAP y FAO, 2013), siendo la única con este comportamiento de las cinco localidades analizadas (Salto, Las Brujas, Tacuarembó, La Estanzuela y Treinta y Tres), aunque podría atenuar los resultados encontrados en el presente trabajo. Se reporta también que en Treinta y Tres se observó además una tendencia creciente en la variabilidad interanual de la ETP en la última década (MGAP y FAO, 2013). Desafortunadamente, no existe información que permita estimar la ETP de cada año particular y por lo tanto el IBH para un período tan extenso de años como el tratado en este artículo.

Otro aspecto que puede haber contribuido a la magnitud del mencionado impacto es que la sensibilidad de los sistemas ganaderos a la sequía se vincula a otros factores (tecnológicos y socioeconómicos) que interactúan con la exposición a las deficiencias hídricas (MGAP y FAO, 2013). El impacto productivo puede deberse a una interacción entre las deficiencias hídricas y la carga animal, ya que la carga con la que trabajan los sistemas criadores de Uruguay es superior a la capacidad de carga que soporta el sistema. Los sistemas ganaderos con altas cargas, que no logran un control adecuado de la relación planta-animal, se encuentran sometidos a un marcado efecto año (son más sensibles a la variabilidad climática) con consecuencias negativas en la producción física y el ingreso económico de los establecimientos (Soca *et al.*, 2007). A la vez, Tommasino (2010) reporta un aumento de la carga vacuna a nivel de país para los últimos 15 años, explicado principalmente por cambios en el uso del suelo, disminución del stock ovino y el uso de suplementación. Esto sugiere que la percepción generalizada de un aumento en las sequías agronómicas en el sector ganadero puede tener más relación con aspectos de sensibilidad (como la carga animal) que de exposición a las deficiencias hídricas. Estas evidencias justifican haber utilizado métodos simplificados para el análisis de las sequías e indican la necesidad de profundizar en los aspectos de sensibilidad a las sequías de los sistemas ganaderos pastoriles. Se requieren nuevas investigaciones interdisciplinarias que mejoren la interpretación de los impactos de las sequías agronómicas en diferentes contextos económicos, políticos y sociales de Uruguay.

## Conclusiones

El análisis realizado permitió la organización y sistematización de información de un largo período de años, el cual no evidenció un aumento en la frecuencia, intensidad o duración de las deficiencias hídricas ni de las sequías agronómicas en las últimas décadas para los sitios estudiados. La percepción de un aumento en las sequías agronómicas en el sector ganadero puede tener más relación con aspectos de sensibilidad (como la carga animal) que de exposición a las deficiencias hídricas.

## Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC-Universidad de la República) en el marco del régimen de dedicación total de la primera autora.

## Bibliografía

- Aguilar E, Sigró J, Brunet M. 2010. RCLIMDEX con funcionalidades extras de Control de Calidad. Manual de Uso, versión 1.0. [En línea]. Tarragona: Centre for Climate Change self-editing. Consultado 8 abril 2014. Disponible en: [http://www.c3.urv.cat/data/manual/Manual\\_rclimdex\\_extraQC.r.pdf](http://www.c3.urv.cat/data/manual/Manual_rclimdex_extraQC.r.pdf).
- Bettolli ML, Altamirano MA, Cruz G, Rudorff F, Martínez A, Arroyo J, Armoa J. 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2): 248 - 259.
- Cruz G, Baethgen W, Modernel P. 2012. Validación de un índice de deficiencia hídrica para campo natural de Uruguay. En: Actas XIV Reunión Argentina de Agrometeorología. Malargue: UniRío. pp. 39-40.
- Cruz G, Bettolli ML, Altamirano MA, Rudorff F, Martínez A, Arroyo J, Armoa J, De Torres MF, Tito P. 2007. Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura de los sistemas pastoriles frente a la variabilidad y al cambio climático: Caso Uruguay. En: Semana de Reflexión sobre Cambio y Variabilidad Climática: 2 - 7 julio 2007; Montevideo, Uruguay. Montevideo: Facultad de Agronomía. pp. 146 - 173.
- Cruz G, Munka C, Pedocchi P. 2000. Caracterización agroclimática de la región litoral Centro Oeste de la Rep. Oriental del Uruguay. *Agrociencia*, 1: 87 - 92.
- FAO. 1979. Método para la aplicación práctica de la fórmula de Penman para el cálculo de la evapotranspiración potencial. Roma: FAO. 64p. (Producción Vegetal; 17).
- Fernández CJ. 1979. Estimaciones de la densidad aparente y retención de agua disponible en el suelo. En: 2ª Reunión Técnica Facultad de Agronomía; 27 - 29 noviembre 1979; Montevideo, Uruguay. Montevideo: Facultad de Agronomía. p. s2.
- Giménez A. 2006. Climate change/variability in the mixed crop livestock production systems of the Argentinean, Brazilian and Uruguayan Pampas: A Final Report Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Project No. LA 27. Washington: START. 70p.
- González J, Fernández B. 2008. Análisis de frecuencia de eventos multivariados de sequías usando cópulas. En: XXIII Congreso latinoamericano de Hidráulica; Cartagena de Indias, Colombia.
- Kendall MG. 1975. Rank correlation methods. 4th ed. London: Charles Griffin. 202p.
- Laterra P, Rivas M. 2005. Bases y herramientas para la conservación in situ y el manejo integrado de los recursos naturales en los Campos y Pampas del Cono Sur. *Agrociencia*, 9(1-2): 169-178.
- MGAP. 2005. Carta de Suelos del Uruguay [Cd-Rom]. Montevideo: MGAP.
- MGAP, FAO. 2013. Adaptación a la variabilidad climática. Informe en el marco del proyecto TCP-FAO 3302. Montevideo. [En prensa].
- Paolino C, Methol M, Quintans D. 2010. Estimación del impacto de una eventual sequía en la ganadería nacional y bases para el diseño de políticas de seguros. En: Anuario OPYPA 2010. Montevideo: MGAP. pp. 277 - 291.
- Petravovits I. 1990. General review on drought strategies. En: Transactions 14th International Congress on Irrigation and Drainage; 30 abril - 04 mayo, 1990; Rio de Janeiro, Brazil. Rio de Janeiro: ICID. pp. 1-11.
- Soca P, Claramunt M, Do Carmo M. 2007. Sistemas de cría vacuna en ganadería pastoril sobre campo nativo sin subsidios: Propuesta tecnológica para estabilizar la producción de terneros con intervenciones de bajo costo y de fácil implementación. *Revista Ciencia Animal*, 3: 3 - 22.
- Thorntwaite CW, Mather JR. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology*, 10: 181 - 311.
- Tommasino H. 2010. 15 años de cambios en el agro uruguayo: impacto en la ganadería vacuna. En: Anuario OPYPA 2010. Montevideo: MGAP. pp. 365 - 381.
- UNESCO. 2010. Guía metodológica para la aplicación del análisis regional de frecuencia de sequías basado en L-momentos y resultados de aplicación en América Latina. Montevideo: CAZALAC. 77p. (Documentos Técnicos del PHI-LAC; 27).