

Variación de la precipitación y la ocurrencia de sequías en la cuenca lechera del SW del Uruguay en el período 1939 – 2011

Caorsi, María Laura¹, Cruz, Gabriela^{1,2}; Terra, Rafael^{1,3}; Astigarraga, Laura^{1,2}

¹ Universidad de la República, Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática. José Enrique Rodó 1843, 11200 Montevideo, Uruguay. *Correo electrónico: mlcaorsi@gmail.com

² Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Avenida Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay

³ Universidad de la República, Facultad de Ingeniería. Julio Herrera y Reissig 565, 11300 Montevideo, Uruguay

Recibido:2016-08-01 Aceptado: 2017-04-12

Resumen

La producción lechera de base pastoril es sensible a las deficiencias hídricas, las cuales afectan los costos de producción y los volúmenes exportados del país. El objetivo de este trabajo es caracterizar y analizar la ocurrencia de sequías agronómicas durante un período de 72 años (1939-2011) en los departamentos de Florida y Colonia (Uruguay). Se analizó la variabilidad de las precipitaciones a partir de series históricas de las estaciones meteorológicas de Colonia y de Florida. Según la ubicación geográfica de la mayoría de los predios lecheros, se utilizaron las unidades suelo San Gabriel y Ecilda Paullier. Se comprobó estadísticamente la existencia de tendencias de déficit hídrico en primavera y verano, utilizando el test de Mann-Kendall. Las sequías agronómicas se caracterizaron utilizando el Índice de Bienestar Hídrico (IBH). Se consideró la ocurrencia de sequía cuando se constataron valores de IBH por debajo de 0,5 durante tres meses consecutivos como mínimo. Se calculó la frecuencia y recurrencia de sequías agronómicas. Los resultados indican que existe tendencia estadísticamente significativa de disminución de las deficiencias hídricas para el verano tanto para el departamento de Florida como el departamento de Colonia y para la primavera en departamento de Florida. Se destaca la alta variabilidad interanual en ambos sitios. La frecuencia de períodos de sequía y recurrencia varió según la región y la unidad de suelo.

Palabras clave: deficiencia hídrica, sequía agronómica, producción lechera

Variation of Rainfall and Drought Occurrence in the SW Uruguayan Dairy Basin in the Period 1939 - 2011

Summary

Dairy grazing production is one of the most sensitive activities to climate variability that affect production costs and volumes exported from the country. The aim of this work was to characterize and analyze the occurrence and frequency of agronomic droughts over a period of 72 years (1939 - 2011), for the Departments of Florida and Colonia, Uruguay. Rainfall variability was analyzed using historical records of the meteorological stations of Colonia and Florida. According to the geographical location of the majority of the dairy farms, the San Gabriel and Ecilda Paullier ground units were used. The existence of water deficit trends was verified statistically, in spring and summer, using the Mann-Kendall test. Agronomic droughts were characterized using the Water Wellbeing Index (IBH). The occurrence of drought was considered when IBH values were found below 0.5 for at least three consecutive months. The frequency and recurrence of agronomic droughts were calculated. The results indicate that there is a statistically significant trend of decreasing water deficiencies for summer for both the Department of Florida and the Department of Colonia and for the spring in the Department of Florida. The high inter-annual variability in both sites is remarkable. Frequency and recurrence of droughts varied according to the region and unit of soil.

Keywords: water deficit, agronomic drought, dairy production

Introducción

La producción lechera de base pastoril es una de las actividades más sensibles a la variabilidad climática, cuyos impactos se sienten en los ingresos y en los costos de las explotaciones, así como en las variables macroeconómicas como el Producto Interno Bruto (PIB) asociado a las agroexportaciones. El cambio climático, parte del cual está asociado al aumento de gases de efecto invernadero, debe entenderse como la modificación del clima en todas sus escalas temporales, incluyendo no solo las tendencias de largo plazo, sino también el aumento de la variabilidad interanual y la frecuencia de eventos extremos (IPCC, 2007; Barros, Clarke y Silva Días, 2006).

La frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos como las deficiencias y los excesos hídricos, y las heladas fuera de época entre otros, afectan la productividad de la base forrajera, y producen efectos negativos sobre los índices de preñez y sobre la eficiencia de conversión de alimentos en carne, leche o lana (Baethgen, 2010). En los sistemas pastoriles, la sequía aparece como el evento extremo que constituye la principal amenaza ambiental (Cruz et al., 2007; Nelson, Kovic y Meinke, 2007; Astigarraga et al., 2013; Chapman et al., 2013). Ejemplos recientes de sequías en Uruguay son las ocurridas en 1999/00, 2003/04 y 2008/09. La sequía 2008/09, que ha sido la de mayor duración entre las mencionadas, determinó la pérdida de una superficie importante de praderas -y en algunas zonas alcanzó a la totalidad de las praderas sembradas- así como una menor disponibilidad de pasturas de calidad durante la primavera del 2008 (Vidal, 2009). A nivel animal, provocó una importante mortandad estimada en alrededor de un millón de terneros, con una pérdida económica total valuada en US\$ 950 millones (CEPAL, 2010).

La percepción generalizada entre los productores respecto a la sequía ha sido relevada en varios trabajos a nivel nacional (Cruz et al., 2007; Bartaburu, 2011; Equipos Mori, 2012; IICA, 2013), mostrando que se percibe un aumento en la ocurrencia de sequías. En función del impacto económico que provocan las sequías sobre los sistemas de producción lecheros pastoriles, se plantea analizar la evolución temporal de las precipitaciones y la ocurrencia de sequías agronómicas durante un periodo de 72 años (1939-2011), en los departamentos de Florida y Colonia, donde se localiza una importante proporción de la producción lechera de Uruguay.

Materiales y métodos

Variabilidad de las precipitaciones en el período 1939-2011

Para el análisis de la variabilidad de las precipitaciones se recurrió a series históricas de precipitación mensual durante el período 1939-2011, correspondientes a las estaciones meteorológicas de Colonia (34.4 S; 57.8 O) y Florida (34.4 S; 56.2 O) proporcionados por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET).

Para descomponer la variabilidad climática se utilizó la metodología recomendada por Green, Goddard y Cousin (2011). La componente de tendencia de largo plazo -que no es lineal- resulta de regresar la serie original sobre una estimación de la evolución de la temperatura media global del mar y busca capturar la variabilidad asociada al calentamiento global. La varianza explicada por la tendencia se calcula como el cociente entre la varianza de la misma y la de la serie original. Como el residuo (serie original menos tendencia) es ortogonal a la regresión, el porcentaje de varianza residual es complementario. Para calcular la componente de mediano plazo o decadal se requiere un filtro de longitud mayor a los períodos característicos del fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS), entre dos y ocho años, por lo que se seleccionó un filtro Butterworth de quinto orden que opera sobre el residuo del primer paso. Al nuevo residuo (serie original menos tendencia menos la componente decadal) se lo denomina de corto plazo o interanual. Si bien el porcentaje de varianza de las componentes decadal e interanual se calculan también dividiendo la varianza de cada uno por la de la serie original, el último paso de la descomposición no garantiza componentes ortogonales por lo que la suma de los porcentajes de varianza no tiene por qué ser exactamente 100 %.

Cálculo Balance Hídrico

El Balance Hídrico (BH) de un suelo consiste en la cuantificación de las entradas y salidas de agua que se producen en el sistema como un estimador de la disponibilidad de agua que tendrá la cobertura vegetal de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Precipitaciones} = \text{ETR} + \text{Var. Almacenaje} + \text{Escurrimiento} + \text{Percolación}$$

donde:

ETR: evapotranspiración real

Var. Almacenaje: variación del almacenaje de agua en el suelo (puede ser positivo o negativo)

Escurrimiento: escurrimiento superficial
Percolación: drenaje profundo (no superficial)

En este estudio se calculó el Balance Hídrico Seriado (Pascale y Damario, 2004; Thornthwaite y Mather, 1957) (BHS 1939-2011) a nivel mensual.

La Evapotranspiración Potencial (ETP), actualmente definida como Evapotranspiración de referencia (ET_0), representa la máxima lámina que sería evapotranspirada por una cobertura cespitosa homogénea de no más de 10 cm de altura con plena disponibilidad de agua en el suelo para una condición meteorológica dada (Allen et al., 1998). Así definida, sólo depende de la demanda atmosférica y constituye una referencia importante para estimar las necesidades hídricas de las plantas.

Conociendo las «entradas» de agua al sistema (precipitaciones), es posible cuantificar la cantidad de agua destinada a cubrir la ETR, considerando al suelo como «reservorio» y tomando en cuenta además que este ejerce una retención no lineal del agua, de acuerdo a una curva de extracción exponencial. Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Alm_t = Alm_{t-1} \cdot e^{[(P-ETP)/CAD]}$$

donde: Alm_t es el almacenaje en el momento actual (tiempo t), Alm_{t-1} es el almacenaje en el período anterior (tiempo t-1) y CAD es capacidad máxima de agua que el suelo puede retener.

El BH realizado considera la variación del contenido de agua del suelo entre dos períodos como $Alm_t - Alm_{t-1}$. Se considera que el escurrimiento superficial y drenaje profundo se manifiestan después de cubrir la ETP y la máxima

capacidad de retención de agua en el suelo. Dicho supuesto se verifica en la realidad si se trabaja a nivel mensual (o como máximo períodos de 10 días). Bajo estos supuestos, la deficiencia de agua en el suelo se produce cuando $ETR < ETP$ y se calcula como la diferencia entre el valor potencial y actual ($ETP - ETR$).

Debido a la falta de información disponible para la estimación mensual de la ETP en cada año, se utilizó información de ETP climatológica del período 1931-1980 estimada según Penman (Doorenbos y Kassam, 1979). Los niveles de ETP en Uruguay están básicamente explicados por el balance de radiación (Cruz et al., 2014), lo que le imprime una elevada variación a lo largo del año y una relativamente baja variabilidad interanual. Considerando la muy alta variabilidad interanual de las precipitaciones, se justifica despreciar la variabilidad de ETP sobre los resultados del Balance Hídrico.

Para identificar las unidades de suelo, se utilizó la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (1.1.000.000, MGAP, 1976). Teniendo en cuenta la ubicación geográfica de la mayoría de los predios lecheros en el departamento de Colonia, se trabajó sobre las unidades de suelo San Gabriel (SG) y Ecilda Paullier (EP). Para el departamento de Florida, tomando el mismo criterio, se utilizó la unidad San Gabriel (SG). Para el caso de EP, el suelo predominante correspondió a un Brunosol Éutrico Típico, con un contenido de agua potencialmente disponible de 136,7 mm. La Unidad de SG presentó como suelo predominante el brunosol subéutrico háplico Fr, y agua potencialmente disponible de 92,4 mm (Molfino y Califra, 2001). De esta forma quedaron defini-

Cuadro 1. Categorías de severidad hídrica según (Petrasovits 1990)

Rango	Descripción
1,0 - 0,8	la escasez de agua del cultivo es sólo teórica, porque a las plantas se les suministra agua de forma continua e ilimitada
0,8 - 0,5	la capacidad para satisfacer la demanda de agua de la zona sigue siendo continua, pero se va restringiendo progresivamente
0,5 - 0,3	la escasez de agua empieza a ser alta, el suministro de agua a las plantas es periódico y restrictivo, como consecuencia, aparecen síntomas de estrés hídrico
< 0,3	se produce un gran estrés hídrico, que causa considerables pérdidas de biomasa y, si esta situación se prolonga, también causa la muerte de la planta

das tres zonas: Colonia-EP, Colonia-SG y Florida-SG.

Índice de Bienestar Hídrico

El Índice de Bienestar Hídrico (IBH) es un indicador que representa hasta qué punto y durante cuánto tiempo un suelo es capaz de satisfacer la demanda de agua del cultivo; también resulta útil para expresar la frecuencia de las sequías, la duración y la intensidad de escasez de agua. Según Petrasovits (1990), el IBH es la relación entre la ETR de un cultivo y la ETP, cuyo máximo es la unidad. En el Cuadro 1 se presentan las categorías propuestas por Petrasovits (1990) para caracterizar la severidad de las deficiencias hídricas.

Caracterización de años agrícolas con sequía agronómica

Se utilizó el concepto de la sequía agronómica reportado por Valiente (2001), el cual considera que se produce una sequía de este tipo cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo (o pastura) en cualquiera de sus fases de crecimiento. Esta situación se corresponde con el umbral de 0,5 reportado por Petrasovits (1990), a partir del cual comienzan a manifestarse síntomas de marchitez en la vegetación (Cuadro 1). Por otro lado, se definió año o ejercicio agrícola como el período de 12 meses comprendidos entre julio y junio del siguiente año. Considerando estos antecedentes se definieron los siguientes criterios para caracterizar un ejercicio agrícola con sequía agronómica:

Ocurrencia de sequía: registro de al menos tres meses consecutivos con IBH mensual menor a 0,5 durante el año agrícola.

Intensidad de la sequía: mínimo IBH mensual registrado durante un episodio de sequía en un año agrícola.

Duración de la escasez hídrica: número total de meses incluyendo los meses con IBH inferior a 0,80 que antecede y/o sucede a la secuencia de por lo menos tres meses con IBH inferior a 0,50.

Luego de realizada la caracterización antes mencionada, se calculó la frecuencia de ocurrencia de años con sequía agronómica según la duración de la misma (tres, cuatro o más meses consecutivos), así como su correspondiente recurrencia (1/frecuencia). Además, se calculó la frecuencia de sequía condicional a la ocurrencia de sequía en el año previo, en la medida en que el déficit hídrico

en dos ejercicios agrícolas consecutivos causa pérdidas particularmente significativas en la producción, en particular en la producción lechera (Astigarraga et al., 2013).

Análisis estadístico de tendencia

Para el período estudiado (1939-2011) y en las tres zonas previamente definidas, se comprobó estadísticamente la existencia de tendencias de déficit hídrico en primavera (septiembre, octubre y noviembre) y verano (diciembre, enero y febrero), utilizando el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975). Para ello, se consideró el IBH promedio de la estación (primavera o verano) en cada año y se calculó 1-IBH como índice de déficit hídrico, variando entre 0 (sin limitante de agua en el suelo para el crecimiento vegetal) y 1 (sin disponibilidad de agua en suelo para crecimiento vegetal). Tendencias positivas en 1-IBH indicarían un aumento en la ocurrencia de déficit hídrico y viceversa. La prueba de tendencia de Mann-Kendall es no paramétrica y más robusta que la correlación lineal en el tiempo para verificar si una serie temporal tiene un ordenamiento ascendente o descendente significativo, independientemente de la amplitud del coeficiente de ajuste lineal.

Resultados

Variabilidad de las precipitaciones

En las Figuras 1 y 2 se presenta la descomposición de la variabilidad de la precipitación total anual en sus componentes de corto (interanual), mediano (decádico) y largo plazo (tendencia) en los 72 años analizados para las EM de Colonia y Florida.

La descomposición relativa de la variabilidad en distintas escalas temporales, en particular la dominancia de la escala interanual; se presenta en el Cuadro 2 cuantificándola a partir del porcentaje de la varianza total de la precipitación por departamento y horizonte temporal.

Cuadro 2. Porcentaje de la varianza total de la precipitación explicada por la variabilidad de largo plazo (tendencia), variabilidad interdecadal y variabilidad interanual para los departamentos de Colonia y Florida en el período 1939/40-2011/12.

Porcentaje Varianza Total	Florida	Colonia
Tendencia	1 %	9 %
Interdecadal	12 %	16 %
Interanual	88 %	74 %

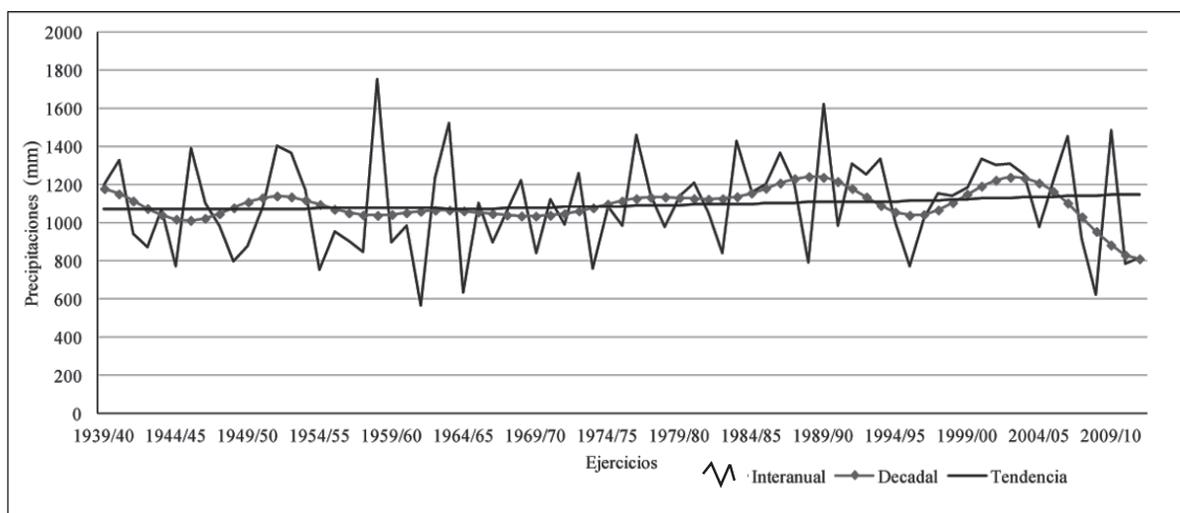


Figura 1. Variabilidad interanual (línea quebrada), interdecadal (línea con punto) y tendencia de largo plazo (línea recta) de las precipitaciones para el departamento de Colonia período 1939/40- 2011/12.

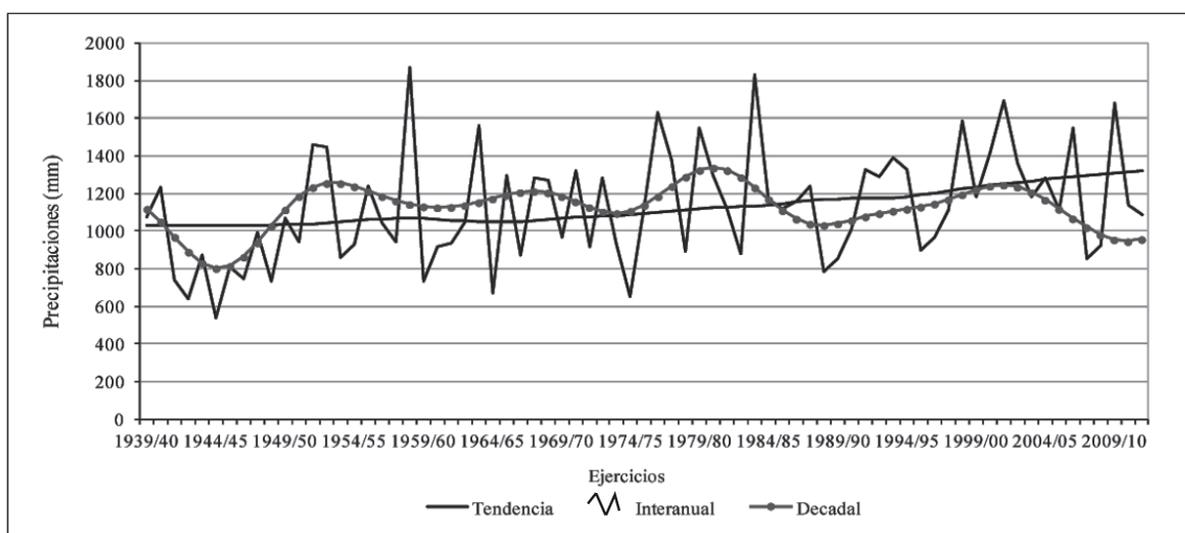


Figura 2 Variabilidad interanual (línea quebrada), la interdecadal (línea con punto) y tendencia de largo plazo (línea recta) de las precipitaciones para el departamento de Florida período 1939/40- 2011/12.

La varianza explicada por la variabilidad decadal y, sobre todo, por la tendencia de largo plazo de la precipitación, es mayor para el de Colonia que para el departamento de Florida, resultado coherente con resultados regionales de esta misma descomposición (IRI, 2017).

Para el departamento de Colonia, la componente de largo plazo asociada al calentamiento global representa un aumento de 1,31 mm/año (coeficiente de tendencia lineal de la componente). El año que registró la mayor precipitación fue 1958/59 con 1755 mm y el de menor

precipitación fue 1961/62 con 569 mm. En el departamento de Florida, la componente de largo plazo representa un aumento de 4,88 mm/año. La mayor precipitación se registró en 1958/59 con 1870 mm y el menor registro ocurrió en 1944/45 con 537 mm.

Tendencias de déficit hídrico en primavera y verano

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del test de Mann-Kendall donde se evaluó la significancia de las tendencias en las series de déficit hídrico en primavera y

Cuadro 3. Valor de $(p > \alpha)$ obtenido con el test de Mann - Kendall para los meses de déficit hídrico de primavera y verano para los departamentos de Colonia y Florida y para las unidades de suelo San Gabriel y Ecilda Paullier.

	Primavera	Verano
Colonia-Ecilda Paullier	0,52 ⁽⁻⁾	0,027 ⁽⁻⁾
Colonia-San Gabriel	0,47 ⁽⁻⁾	0,017 ⁽⁻⁾
Florida-San Gabriel	0,03 ⁽⁻⁾	0,003 ⁽⁻⁾

(-) Tendencia de disminución de déficit hídrico

verano para las tres zonas analizadas, según las distintas unidades de suelo de los departamentos de Colonia y Florida (Colonia-EP, Colonia-SG, Florida-SG).

Se observa tendencias negativas en todos los casos, lo que implica una disminución del déficit hídrico o un aumento del bienestar hídrico para las pasturas. Dichas tendencias fueron significativas para el verano en ambos departamentos y zonas (SG y EP), y para la primavera en el departamento de Florida, para la zona SG.

Caracterización de las sequías agronómicas de en primavera-verano

El Cuadro 4 presenta la ocurrencia y duración de sequía agronómica y su recurrencia para los meses de primavera y verano en las tres zonas analizadas.

La frecuencia de sequía agronómica para el período analizado fue 36,1 % para Florida- SG, 29,0 % para Colonia-SG y 28,0 % para Colonia-EP, es decir, una recurrencia de 2,8 años en Florida-SG, 3,4 años en Colonia-SG y 3,6 años en Colonia-EP. Como es natural, esta recurrencia disminuye al considerar períodos más extensos de sequía (cuatro meses o más) (Cuadro 4)

Cuadro 4. Frecuencia y Período de Retorno de ejercicios con sequía agronómica y con cuatro o más meses de duración en primavera y verano para los departamentos de Colonia y Florida y para las unidades de suelo San Gabriel y Ecilda Paullier entre 1939 a 2011.

	Probabilidad de ocurrencia %			Período de retorno (años)		
	Florida San Gabriel	Colonia San Gabriel	Colonia Ecilda Paullier	Florida San Gabriel	Colonia San Gabriel	Colonia Ecilda Paullier
Años con sequía agronómica (3 meses o más)	36,1	29,0	28,0	2,8	3,4	3,6
Años con sequía agronómica de 4 o más meses consecutivos	27,8	16,7	16,7	3,6	5,9	5,9

Cuadro 5. Frecuencia de ocurrencia de un episodio de sequía en primavera-verano dado que el año previo haya ocurrido una sequía agronómica para los departamentos de Colonia y Florida y para las unidades de suelo San Gabriel y Ecilda Paullier entre 1939 a 2011.

	Florida San Gabriel	Colonia San Gabriel	Colonia Ecilda Paullier
Frecuencia	26,0	35,0	26,3

Por último, el Cuadro 5 muestra también que las frecuencias de sequía condicionada a la ocurrencia de sequía en el año previo.

Discusión

Este trabajo caracteriza la ocurrencia, intensidad y duración de las sequías agronómicas en un período extenso de tiempo, considerando todos los componentes del balance hídrico del suelo (precipitaciones, evapotranspiración potencial, tipo de suelo) y con una cobertura de tipo pradera. En este apartado se discute el análisis conjunto de la evolución de las precipitaciones en distintas escalas temporales, las tendencias del déficit hídrico y la ocurrencia de sequías.

Análisis de las precipitaciones (1939-2011)

En el largo plazo (1939-2011), tanto el departamento de Florida como el departamento de Colonia muestran una tendencia de aumento en las precipitaciones. Giménez et al. (2009) reportan tendencias semejantes en primavera-verano en localidades del oeste de Uruguay (Colonia-La Estanzuela, Mercedes y Paysandú, durante el período 1931-2000). Resultados similares son reportados por

Bidegain et al. (2012), confirmando el incremento de las precipitaciones para diferentes regiones del país durante la temporada cálida.

El promedio de la variabilidad decadal de ambos departamentos (Colonia y Florida) es de 15 %. En este mismo sentido, Díaz (2013) reporta para 14 sitios analizados en Uruguay, Argentina y Chile, una variabilidad decadal de las precipitaciones mayor aún, cercana a 20 %.

Tanto para el departamento de Florida como para el departamento de Colonia se destaca la alta variabilidad interanual expresada como porcentaje de la varianza total de la precipitación. La misma representó el 88 % para el departamento de Florida y el 74 % para el departamento de Colonia (Cuadro 2). El comportamiento de la variabilidad a distintas escalas concuerda con lo reportado por Giménez et al. (2009) y por Díaz (2013). La gran variabilidad climática existente entre años enmascara las tendencias de largo plazo de las precipitaciones. Por tanto, lo que el productor percibe predominantemente a nivel de la producción agropecuaria es el impacto de la variabilidad interanual (Baethgen, Meinke y Giménez, 2004; Cruz et al., 2007; Giménez et al., 2009). La percepción entre los productores respecto a una mayor recurrencia de sequías reportada en varios trabajos (Equipos Mori, 2012; Díaz, 2013) podría estar asociada a los valores inferiores al promedio de precipitaciones para los últimos años. En nuestro análisis se observó que, para el departamento de Florida en los últimos 12 años y para el departamento de Colonia en los últimos siete años (Figuras 1 y 2), la variabilidad decadal contribuye en forma negativa, resultando en menores precipitaciones.

Estos resultados combinados pueden contribuir a comprender la aparente contradicción entre la percepción de los productores y las tendencias estadísticas de largo plazo. Según IICA (2013), muchas veces las percepciones de los productores no coinciden con las tendencias climáticas de largo plazo, sino que suele existir una «memoria corta» o reciente a nivel de los impactos de las sequías sobre la producción agropecuaria.

Tendencia de déficit hídrico y ocurrencia de sequías

Aunque los resultados muestran tendencia a menor déficit hídrico en primavera-verano (Cuadro 3), es relevante considerar la frecuencia y la recurrencia de las sequías agronómicas como medida del riesgo potencial de este evento extremo sobre los sistemas pastoriles de producción.

La frecuencia de sequía agronómica y la recurrencia varían según departamento y suelo. En Florida-SG se encontró mayor frecuencia de sequía agronómica (36,1 %) independiente de la duración de la misma. En Colonia-SG fue de 29,0 % y en Colonia-EP fue 28,0 % (Cuadro 3). Los suelos de la Unidad San Gabriel poseen menor contenido de agua potencialmente disponible (92,4 mm) que los de Ecilda Paullier (136,7 mm) (Molfino y Califra, 2001) y, por lo tanto, es esperable que a menor capacidad de almacenaje de agua del suelo, aumente la recurrencia y la duración de las deficiencias hídricas. Los resultados concuerdan con lo reportado por Cruz et al. (2014) en suelos superficiales de los departamentos de Salto y de Treinta y Tres. Vale recordar que debido a indisponibilidad de datos adecuados, no se consideró la variabilidad ETP más allá del ciclo anual. Si bien la ETP podría estar incidiendo en las tendencias de largo plazo en las deficiencias hídricas, los resultados preliminares en períodos más cortos muestran una reducción y no un aumento de largo plazo de la ETP en el suroeste de Uruguay (Bidegain et al., 2012).

Finalmente, el análisis de la frecuencia de un episodio de sequía en primavera-verano condicionado a que el año previo haya ocurrido una sequía agronómica en la zona, muestra valores llamativamente similares a los calculados a partir de todo el registro, lo cual sugiere que la ocurrencia de sequía en un año dado es independiente de lo ocurrido el año anterior.

Conclusiones

La variabilidad de las precipitaciones en la región productora de leche en Uruguay ha impactado y seguirá impactando en los ciclos biológicos y en la producción final de los sistemas de producción de leche. Sin embargo, en el análisis realizado en este trabajo no se observó una tendencia a un aumento de las deficiencias hídricas en los 72 años analizados. Los resultados indican que existe tendencia estadísticamente significativa de disminución de las deficiencias hídricas en el verano, tanto para el departamento de Florida como para el departamento de Colonia y para la primavera en el departamento de Florida, vinculado al aumento de las precipitaciones en el largo plazo. También se confirmó la alta variabilidad interanual.

En relación a la frecuencia de ocurrencia de sequía agronómica, se encontró que variaba según la región y la unidad de suelo, poniendo en relieve el efecto del tipo de suelo en la recurrencia de este evento.

Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO. (Irrigation and drainage, 56). Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>
- Astigarraga, L., Cruz, G., Caorsi, M. L., Taks, J., Cobas, P., Mondelli, M. y Picasso, V. (2013). *Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay* (Vol. 4 Sensibilidad y capacidad adaptativa de la lechería frente al cambio climático). Montevideo: FAO, MGAP. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/field/009/as256s/as256s.pdf>
- Baethgen, W. (2010). *Opciones para la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario del Uruguay*. Recuperado de [http://www.undpcc.org/docs/National%20issues%20papers/Agriculture%20\(adaptation\)/Uruguay_national%20issues%20paper_Agropecuario_adaptation%20final.pdf](http://www.undpcc.org/docs/National%20issues%20papers/Agriculture%20(adaptation)/Uruguay_national%20issues%20paper_Agropecuario_adaptation%20final.pdf)
- Baethgen, W. E., Meinke, H. y Giménez, A. (2004). *Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: Lessons learned and proposed research approach*. Recuperado de <http://www.climateadaptation.net/docs/papers/Baethgen%20Meinke%2085z%20NOAA%202003.pdf>
- Barros, V., Clarke, R. y Silva Dias, P. (2006). *El cambio climático en la Cuenca del Plata*. Buenos Aires: CONICET. Recuperado de <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/materias/Cambioclimatico.pdf>
- Bartaburu, D. (2011). Las estrategias de conducción de las explotaciones ganaderas y la adaptación a la sequía. En *Evaluación de una metodología de modelación y simulación participativa para contribuir a la comprensión y comunicación del fenómeno de la sequía y mejorar la capacidad de adaptación de productores ganaderos del Basalto* (pp. 10-15). Montevideo: Instituto Plan Agropecuario. Recuperado de http://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/18_simulacion.pdf
- Bidegain, M., Crisci, C., Del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J. y Terra, R. (2012). *Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay* (Vol 1. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo). Montevideo: FAO, MGAP. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/field/009/as253s/as253s.pdf>
- CEPAL. (2010). *Estudio nacional de economía del cambio climático: Síntesis*. Recuperado de <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2011/08893.pdf>
- Chapman, D., Rawnsley, R., Cullen, B. y Clark, D. (2013). Inter-annual variability in pasture herbage accumulation in temperate dairy regions: Causes, consequences, and management tools. En D. L. Michalk, G. D. Millar, W. B. Badgery y K. M. Broadfoot (eds.). *Revitalising grasslands to sustain our communities: Proceedings of the 22nd International Grassland Congress* (pp.798-805). Orange: New South Wales Department of Primary Industry. Recuperado de http://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_2573.pdf
- Cruz, G., Baethgen, W., Picasso, V. y Terra, R. (2014). Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(1), 126-132.
- Cruz, G., Bettolli, M.L., Altamirano, M. A., Rudorff, F., Martínez, A., Arroyo, J., ... y Tito, P. (2007). Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura de los sistemas pastoriles frente a la variabilidad y al cambio climático: Caso Uruguay. Trabajo presentado en *Primera Semana de Reflexión sobre Cambio y Variabilidad Climática*.
- Díaz, R. (Ed.) (2013). *Estrategias de extensión: Los agricultores familiares y su adaptación al cambio climático en territorios seleccionados del Cono Sur. Informe final I*. Recuperado de <http://apps.procisur.org.uy/images/biblioteca/informefinal%20-%2001b.pdf>
- Doorenbos, J. y Kassam, A.H. (1979). *Yield response to water*. Roma: FAO. (Irrigation and drainage, 33)
- Equipos Mori (2012). *Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay* (Vol. 2 La percepción de productores y técnicos agropecuarios). Montevideo: FAO, MGAP. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/field/009/as254s/as254s.pdf>
- Giménez, A., Baethgen, W., Castaño, J. P. y Lanfranco, B. (2009). *Cambio Climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario*. Montevideo: INIA. (Serie Técnica 178). Recuperado de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429071209133815.pdf>
- Green, A. M., Goddard, L. y Cousin, R. (2011). Web tool deconstructs variability in Twentieth-Century climate. *Eos*, 92(45), 397–398. Recuperado de https://iri.columbia.edu/~amg/pubs/EOS_2011.pdf
- IICA. (2013). *Cambió el clima: Herramienta para abordar la adaptación al cambio climático desde la extensión*. Montevideo: IICA. Recuperado de <http://replica.iica.int/docs/b3185e/b3185e.pdf>
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: Synthesis Report*. Geneva: IPCC. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_frontmatter.pdf
- IRI. (2017). *Precipitation time scales*. Recuperado de http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Time_Scales/precipitation.html
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. London: Charles Griffin.
- MGAP. (1976). *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay 1.1.000.000*. Montevideo: MGAP. Recuperado de http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1619_carta_de_reconocimiento_de_suelos_del_uruguay_1.1.000.000_imprimir_a0_0.pdf
- Molfino, J. H. y Califra, A. (2001). *Agua disponible de las tierras del Uruguay*. Recuperado de http://www.cebra.com.uy/renare/wp-content/files_mf/1395761584AguadisponibleenSuelosdelUruguayversioncorr.pdf
- Nelson, R., Kovic, P. y Meinke, H. (2007). From rainfall to farm incomes – transforming advice for Australian drought policy: Part II – forecasting farm incomes. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(10), 1004–1012.
- Pascale, A. y Damario, E. (2004). *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía.
- Petrasovits, I. (1990). General review on drought strategies. En *Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage* (12p). Rio de Janeiro: International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).
- Valiente, M. O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, 26(59), 59–80. Recuperado de www.redalyc.org/pdf/176/Resumenes/Resumen_17602604_1.pdf
- Vidal, M. E. (2009). Producción Lechera: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYP 2009* (pp. 71-86). Montevideo: MGAP. Recuperado de <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario2009.zip>
- Thorntwaite, C.W y Mather J.R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology*, 10, 181-311.