

Caracterización regional de sequías en la zona núcleo de cultivos de la República Argentina

Leandro Sgroi¹ y Ernesto H. Berbery²

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Ciudad Universitaria. Ruta Nacional N° 168 - Km 472,4. (3000) Santa Fe, Argentina

² Earth System Science Interdisciplinary Center (ESSIC)/Cooperative Institute for Climate and Satellites-Maryland (CICS-MD), University of Maryland, College Park, College Park, Maryland

Mail de contacto: lsgroi@fich1.unl.edu.ar

RESUMEN

El monitoreo de sequías es una herramienta crítica en la planificación agropecuaria. Este trabajo presenta los resultados de una investigación sobre las propiedades estadísticas de los eventos extremos secos para el Sudeste de Sudamérica poniendo especial interés en el área núcleo de cultivos de la República Argentina. El estudio está basado en índices construidos sobre la base de datos del Climate Prediction Center (CPC) y datos de humedad de suelo del Global Land Data Assimilation System (GLDAS). Mediante su uso, y conjuntamente con distintos umbrales de comportamiento, se analiza el historial de eventos de sequía. Se realiza una caracterización de sequías a nivel regional que incluye el análisis de distintas frecuencias de ocurrencia, duración y severidad de los eventos relacionados con los umbrales establecidos. Se han analizado de alrededor de 30 años de datos para la humedad del suelo, y de más de 60 años para los índices de SPI3, SPI6, y anomalías de precipitación a resoluciones aptas para estudios regionales. Considerando el período 1950-2011 para frecuencias anuales, distintos sectores de la región núcleo de cultivos presentan en promedio entre 1.8 y 2 eventos de sequía por año de acuerdo a valores de umbrales que corresponden a valores negativos equivalentes al desvío estándar.

Palabras clave: Eventos extremos secos · Análisis regional · Región núcleo de cultivos

ABSTRACT

Drought monitoring is a critical tool in agricultural planning. This paper presents the results of an investigation into the statistical properties of the dry extreme events for southeastern South America with particular interest in the core crops area of Argentina. The study is based on indexes built from precipitation data from the Climate Prediction Center (CPC) and soil moisture data from the Global Land Data Assimilation System (GLDAS). Historical drought events are analyzed using these data along with different index thresholds. A characterization of regional drought, including the analysis of different frequencies of occurrence, duration and severity of the events is performed. This study analyzes about 30 years of data for soil moisture, and over 60 years for SPI3, SPI6 and precipitation anomalies at resolutions suitable for regional studies. Considering the 1950-2011 period for annual frequencies, different sectors of the core crops region have an average between 1.8 and 2.0 drought events per year based on threshold values corresponding to negative values of the index equal or exceeding (in magnitude) one standard deviation.

Keywords: Dry extreme events · Regional analysis · Crops core region.

INTRODUCCIÓN

Los eventos extremos secos difieren de otros desastres naturales en su dinámica. Las sequías particularmente suelen comenzar a desarrollarse lentamente y cuando se manifiestan es debido a que las consecuencias han producido estragos a nivel regional ([Wilhite, 2006](#)). Para poder entender el comportamiento de un evento de sequía, se hace necesario definir qué se entiende por sequía. No existe una única definición general pero una definición concreta permitirá identificar los sectores afectados. En este trabajo se considera como evento de sequía a aquel donde la cantidad de agua disponible no alcanza a satisfacer una determinada demanda.

En general el sistema físico es el que brinda la cantidad de agua disponible para ser usada, mientras que el sistema biológico es fundamentalmente el que la demanda ([Redmond, 2002](#)). Desde el análisis del sistema físico, se puede considerar sequía cuando la precipitación es menor que un cierto valor umbral, en tal caso se define una sequía Meteorológica; en cambio cuando lo que se analiza son datos de escorrentía menores que un valor normal, se tiene una sequía Hidrológica. Se define como sequía Agrológica cuando la humedad del suelo no alcanza a satisfacer un cierto valor ([Dracup et al. 1980](#)).

La región para la cual se realiza el análisis de los eventos extremos es el Sudeste de Sudamérica (SS), donde se encuentra la cuenca del río de La Plata y en particular en la Región Núcleo (RN) de cultivos de Argentina definida en función de los cultivos de maíz, soja y trigo. La misma se determinó en base a mapas que indican la región de mayor producción de cada cultivo.

La caracterización de la sequía es la forma de definir la naturaleza de la misma a través del comportamiento de sus diferentes parámetros ([Mishra et al. 2009](#)). El análisis estadístico en este trabajo se centra en investigar la frecuencia, duración, y severidad de los episodios secos o húmedos. La frecuencia se estudia a diferentes escalas de tiempo, anual, estacional, y a nivel mensual para los meses críticos de cada cultivo. La duración es usada para establecer la distribución de las sequías por su persistencia en el tiempo; mientras que la severidad permite indicar cuales sequías son más intensas más allá de su duración. El uso del índice estandarizado de precipitación SPI ([McKee et al. 1993](#)) es ampliamente aceptado para cuantificar la mayoría de los eventos de sequía ([Mishra et al. 2009](#)). Para definir eventos de sequía se usaron diferentes valores límites de manera que se considera que un evento de sequía comienza cuando el valor de la variable es menor que el valor límite considerado en cada caso.

En el presente trabajo se analizan los eventos de sequía considerando 4 variables diferentes como SPI con dos escalas de tiempo de 3 y de 6 meses, anomalías de precipitación (PA por su sigla en inglés) y humedad de suelo (SM por su sigla en inglés). Los objetivos de este trabajo serán: (a) identificar y estudiar los eventos de sequías detectados en el período de análisis de los datos, mediante un análisis estadístico de sus parámetros; (b) monitorear los eventos mediante el uso de los índices estandarizados, y (c) determinar las sequías más severas registradas y comparar con los valores de rendimiento de los cultivos de la RN.

DATOS Y METODOLOGIA

Región núcleo

Se utilizó para este trabajo datos de 3 cultivos que son de los más representativos en la región Pampeana Argentina como el maíz, la soja y el trigo. De acuerdo a valores y mapas de intensidad de producción originados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimento de la nación (SAGPyA) se determinaron áreas de mayor producción por cada cultivo; tanto para el maíz como para la soja las áreas de producción se establecieron en base a valores medios de producción del período 2005/06 - 2009/10, mientras que para el trigo los valores medios fueron del período 2006/07 - 2010/11. Se estableció el área núcleo del maíz con coordenadas de latitud (-30°, -36°) y de longitud (-60°, -65°). El área de soja es la más extensa de (-29°, -36°) de latitud y (-59°, -65°) de longitud, y el trigo (-30°, -35°) y (-61°, -63°) respectivamente. Para cada cultivo se realizó el análisis de la frecuencia mensual de eventos considerando el período crítico de

desarrollo de cada uno de ellos a efectos de evaluar la ocurrencia de sequías en el mismo, tomando los meses de diciembre-enero los críticos para el maíz, enero-febrero los de la soja, y octubre-noviembre los del trigo.

Datos

Se usaron datos de 4 variables para analizar los eventos, dos de ellos son índices estandarizados con escala de tiempos variables de 3 y 6 meses, SPI3 y SPI6, y dos en formato de anomalías de P y de SM.

Los datos de SM son del período 1979-2009 con valores mensuales y resolución espacial de 0,5° x 0,5° que corresponden al Global Land Data Assimilation System (GLDAS). Este sistema global de asimilación de datos utiliza modelos de superficie que permiten generar datos óptimos, sobre la base información satelital y datos observacionales en superficie, que sirven para caracterizar el estado a nivel del suelo de ciertas variables ([Rodell et al. 2004a](#)), entre las que se encuentra la humedad del suelo. Datos con que se cuenta son de SM a distintas profundidades, el sistema que en este caso corresponde al modelo superficial Noah genera valores para niveles de 0-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm, y de 100-200 cm, totalizando 2 metros de profundidad de suelo. Utilizando los datos se determinó el valor de SM total del perfil del suelo y se removió el ciclo anual a fin de trabajar con anomalías.

Los datos de precipitación corresponden al período 1950-2011 con valores mensuales en base a observaciones *in-situ* y luego interpoladas espacialmente a una retícula de 1° x 1° originadas y distribuidas por el Climate Prediction Center (CPC) de los Estados Unidos.

Los datos de SPI3 y SPI6 fueron obtenidos también del CPC y cubren el período 1950-2011 con valores mensuales y resolución espacial de 1° x 1°. Para un análisis detallado de la estimación de estos índices referirse a [McKee et al. \(1993\)](#). Los datos con que se dispone, con dos escalas de tiempo, permiten monitorear tanto sequías meteorológicas como agrológicas y hasta hidrológicas. El SPI fue desarrollado con el propósito de definir y monitorear sequías ([McKee et al. 1993](#)). Se considera que un evento es seco cuando el valor de SPI se mantiene por debajo de un valor negativo durante un cierto tiempo y culmina cuando se torna positivo. La característica estandarizada del índice permite que se puedan realizar comparaciones de valores entre sitios diferentes y que éstos sean consistentes ([Keyantash y Dracup, 2002](#)). El valor del índice para una escala de tiempo representa un alejamiento del valor de precipitación media histórica del lugar para ese tiempo; y cuando más grande sea el valor absoluto del SPI, tanto más extremo será el evento definido y menor su probabilidad de ocurrencia. [McKee et al. \(1995\)](#) definieron las categorías de los eventos secos para valores de SPI y se pueden ver las mismas en la tabla 1.

Tabla 1 – Clasificación de eventos de sequía

Valores de SPI	Categoría
0,0 a -0,99	Sequía Suave
-1,00 a -1,49	Sequía Moderada
-1,50 a -1,99	Sequía Severa
<= -2,0	Sequía Extrema

El análisis de los índices con escalas temporales de 3 y de 6 meses permite detectar cosas diferentes en cada caso. Los valores de SPI3 reflejan condiciones de humedad de corta y media duración, y proveen estimaciones estacionales de precipitación; por ejemplo las condiciones de humedad disponible en los períodos críticos de los cultivos. También resulta útil comparar valores de SPI3 con valores de índices de escalas de tiempo mayor, a fin de poder identificar eventos, que solo con el análisis de SPI3 no resultaría posible; por ejemplo el valor de SPI3 para dos meses consecutivos puede arrojar condiciones normales, pero si se analiza con SPI6 podría estar ante una condición de sequía. El análisis de valores de SPI6 provee información de la precipitación entre estaciones, así como también indica el inicio de comportamiento anómalo de caudales y niveles de reservorios.

Se eligieron dos niveles diferentes de truncamiento para definir las sequías, de manera de poder establecer eventos de sequía cuando existe un comportamiento continuo de la variable con valores negativos por debajo del umbral. Como valores de umbrales usados para determinar eventos extremos secos en primer lugar se utilizó el valor equivalente al desvío estándar (1) de la muestra en negativo, de forma que valores de la variable menores o iguales al desvío en negativo constituyen un evento seco. Asimismo se utilizó la misma metodología pero usando como umbral la mitad del valor del desvío; de esta manera la cantidad de eventos secos definidos es mayor

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

donde σ es el desvío estándar de la muestra de datos, x_i es el valor de la variable en tiempo i y \bar{x} es el valor medio de la variable en el período completo.

Los niveles de truncamiento usados equivalentes a un desvío estándar y a medio son, para el caso de los índices SPI3 y SPI6 de -1.0 y de -0.5 debido a que ambos se encuentran estandarizados; mientras que para las PA es -18.0 mm y -9.0 mm. Para las anomalías de SM es de -76.0 mm y de -38.0 mm respectivamente.

Uso de parámetros

En este trabajo se examinó la frecuencia, la duración y la severidad de las sequías para los diferentes umbrales. Las frecuencias de sequías se estudiaron a nivel anual, estacional, y mensual para los meses críticos de cultivo. Para ello se confeccionaron figuras donde se muestra la distribución espacial en toda Sudamérica la frecuencia de sequías. Asimismo se construyeron histogramas de frecuencia para evidenciar la distribución de las frecuencias de las series de tiempo de cada variable en el área núcleo de cada cultivo.

En este análisis se consideraron tres tipos de sequías definidas por su duración, es decir sequías de baja duración las que corresponden a eventos de duración de hasta 3 meses; las de alta duración aquellas que superan los 10 meses, y las de duración media son los eventos determinados entre ambos extremos. Para la duración de sequías se construyeron histogramas mostrando la cantidad de eventos detectados de distintas duraciones.

Otra propiedad importante de las sequías es su severidad ([Dracup et al. 1980](#)). La definición de severidad es el producto entre la deficiencia de agua promedio M por la duración del evento D ([Keyantash y Dracup, 2002](#)) fórmula (2). De esta forma las sequías se clasifican de acuerdo a su severidad y se permite identificar para una serie de eventos secos cuál de ellos fue el evento más severo.

$$S = D * M \quad (2)$$

El valor M corresponde a la magnitud media y es el valor medio de anomalía de la variable por debajo del umbral a lo largo de un cierto tiempo D , que está determinado en semanas, meses o años.

RESULTADOS

Análisis de series de tiempo

La Fig. 1 muestra el comportamiento de las series de tiempo correspondientes a las variables antes mencionadas para el área del cultivo de soja que es la más extensa de los 3 cultivos; para los cultivos de maíz y de trigo, no mostrados, los comportamientos resultan similares a los de la soja. Las marchas de SPI3 y SPI6 son similares, aunque SPI6 muestra una marcha atenuada respecto de SPI3 (esto se mantiene para los demás cultivos analizados). Se observan valores de SPI 3 y 6 muy bajos menores a -2.0 en la segunda mitad de la década del 60 y períodos con comportamientos descendentes entre el 1960 y 1968, entre el 1984 y 1989, del 1993 al 1997, y el más extenso del 2000 al 2009. En el análisis de las PA, los valores mínimos se registran en el año 1965 y en 1980 con valores de -30.0 mm, casi 2 veces el desvío estándar en negativo (-18.0 mm), Se observan períodos de comportamiento descendente entre el 1957 y 1962, 1967 y 1972, entre 1984 y 1990, y entre 1993 y 1997. La marcha de SM es más simple ya que la variación de la

humedad en el espesor de suelo en el que se encuentra, es menos sensible a pequeños cambios temporales; debido a que el suelo se comporta como atenuador de las variaciones.

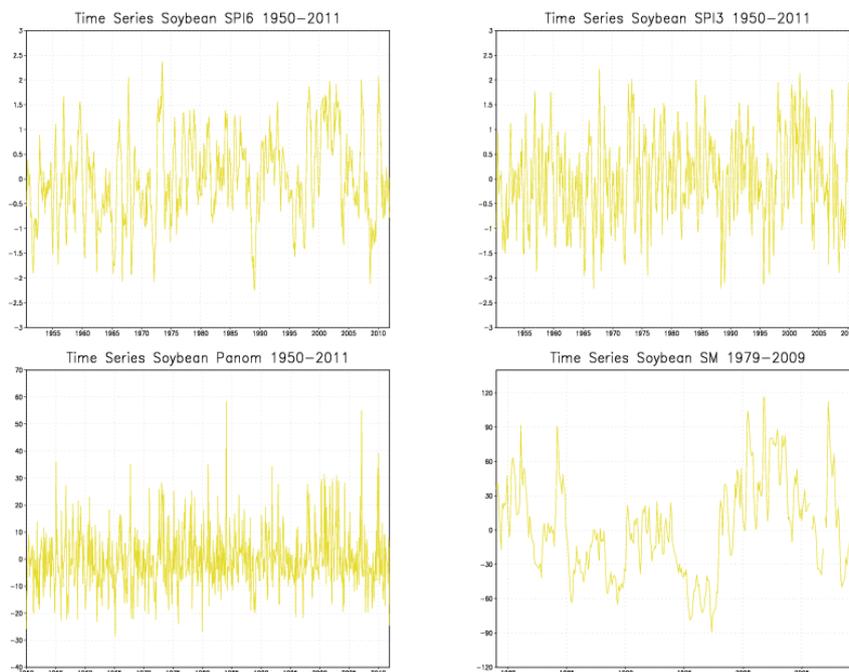


Figura 1 – Series de tiempo de SPI3, SPI6, PA y SM para el área núcleo de soja

Se puede ver dos períodos con comportamientos claramente por debajo la media como del 1984 al 1992, y del 1993 al 1997; y luego un comportamiento descendente importante entre 2002 hasta 2009. En la Fig. 2 se destaca la frecuencia de eventos para cada variable; se aprecia claramente que las mayores frecuencias de eventos en el análisis de las variables se producen para intervalos ubicados del lado negativo de la media, en SPI3 y SPI6 en el intervalo (-0.5,0.0); en PA en el intervalo (-10.0,-5.0) y en SM en el intervalo (-25.0,0.0). Los valores de frecuencia máxima de eventos son 160 y 170 para SPI3 y SPI6, mientras que para PA y SM 170 y 93 respectivamente

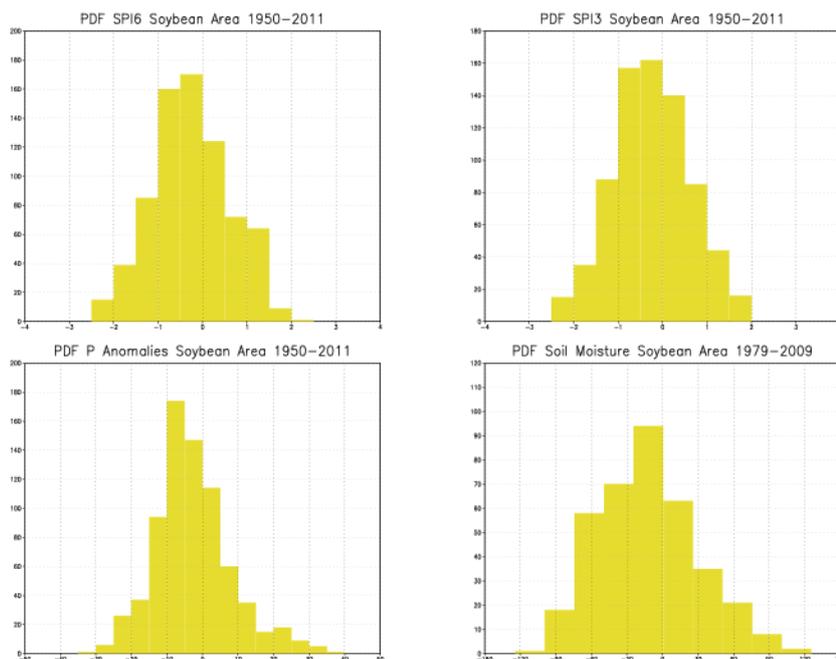


Figura 2 – Histograma de frecuencias de SPI3, SPI6, PA y SM para el área núcleo de soja

Análisis de duración y severidad

Los histogramas de duración de sequías se determinaron contabilizando para cada variable, y para cada región de cultivos, el número de sequías por duración del evento; de tal manera que para eventos de duraciones bajas, altas y medias, se establecieron las frecuencias de ocurrencia. De forma similar al análisis de las series de tiempo y de frecuencia de eventos solo se muestran los análisis que corresponden a la RN del cultivo de soja, por ser el área más extensa. El histograma para SPI3 con nivel de umbral de -0.5 en Fig. 3 muestra mayores frecuencias para bajas duraciones disminuyendo la frecuencia a medida que aumenta la duración del evento, la mayor frecuencia es de 25 para duración 1 mes y para duración 7 meses la frecuencia es de 2. En el caso del nivel de truncamiento en -1.0 (no mostrado) existen tres comportamientos bien diferenciados, alta frecuencia para duración 1 mes, frecuencias medias de 12 para duraciones de 2 y 3 meses, y bajas frecuencias para duraciones de 4 a 7 meses.

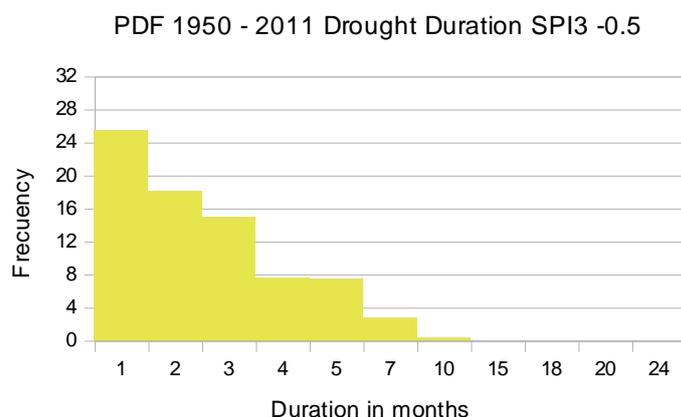


Figura 3 – Histograma de frecuencias de eventos por duración según SPI3 para área núcleo de soja

El análisis de datos de SPI6 permite detectar eventos de una duración mayor que SPI3 por lo tanto es útil para visualizar eventos de sequía asociados a duraciones más extendidas en el tiempo. El histograma con umbral -0.5 en Fig.4 presenta una distribución de frecuencias para eventos de baja y media duración, y poca presencia de eventos de alta duración, con frecuencia de 22 eventos de duración 1 mes y descendiendo gradualmente conforme aumenta el tiempo; respecto del mismo umbral de SPI3 los valores de frecuencias son menores pero alcanza a mayores duraciones. El histograma del umbral -1.0 (no mostrado) tiene valores de frecuencias más baja para eventos de baja duración que el umbral de -0.5 y comportamiento similar en duraciones medias.

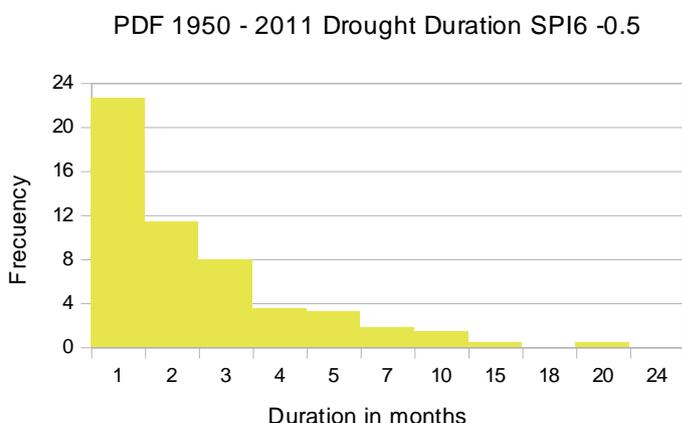


Figura 4 – Histograma de frecuencias de eventos por duración según SPI6 para área núcleo de soja

En el análisis de severidad se consideran los índices SPI3 y SPI6 por su período de datos más

amplio, y se determinan los eventos más severos registrados en el mismo calculados de acuerdo a la fórmula 2. Las Figs. 5 y 6 indican que existen al menos 5 eventos de sequías con valores de severidad menores a -6 para SPI3 y la misma cantidad de eventos con valores menores a -9 para SPI6; constituyendo los eventos más severos los que corresponden al año 1988 en la serie de SPI3. Mientras que para la serie de SPI6 el año de la sequía más severa se registró en 1967 compartido con otro en 1965. Ambos índices permiten detectar la sequía severa del año 2008, así como también en los años 1996-97, y también el evento que corresponde al año 1972.

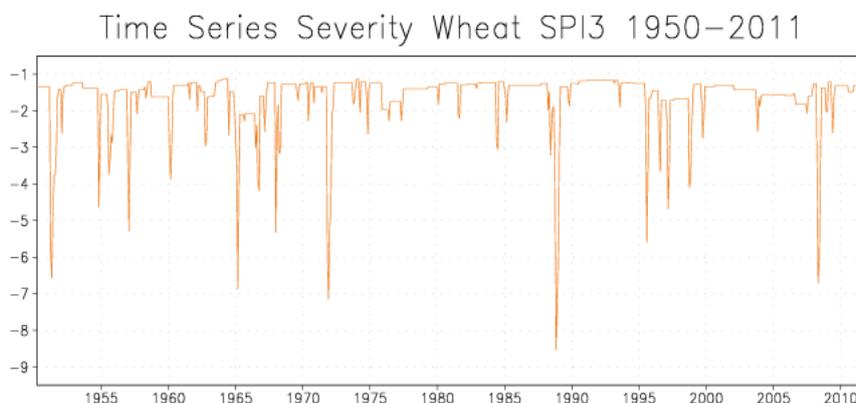


Figura 5 – Series de tiempo de Severidad según SPI3 para el área núcleo de trigo

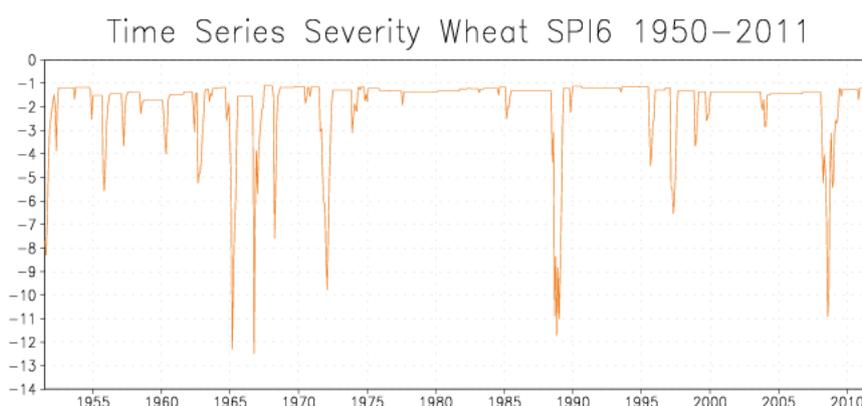


Figura 6 – Series de tiempo de Severidad según SPI6 para el área núcleo de trigo

En la verificación de la severidad de sequías determinadas en las Figs. 5 y 6 se consideró la marcha de rendimiento en kg/ha de los cultivos de Trigo, Maíz y Soja de la provincia de Santa Fe que se encuentra dentro de la RN de los cultivos analizados. En la Fig. 7 se muestra los rendimientos desde 1970 hasta 2011. Obviamente, ha habido un notable incremento de la producción debido a mejoras en tecnologías y granos. Sin considerar ese cambio sostenido, se aprecia en la figura como los rendimientos por hectárea presentan picos en caída de rendimiento en los años de sequías severas (como por ejemplo 1988, 2008, 1996-97).

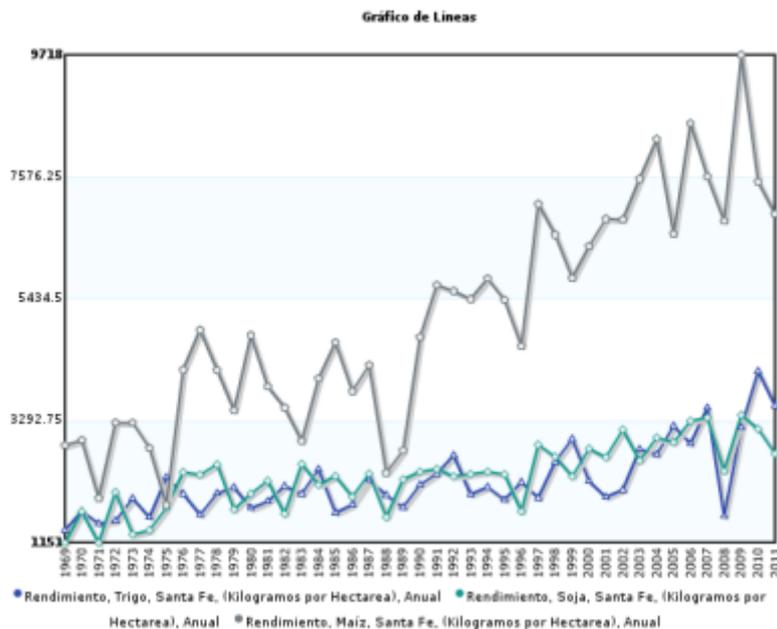


Figura 7 – Series de tiempo de Severidad según SPI3 para el área núcleo de trigo

CONCLUSIONES

El uso de SPI de escalas de tiempo 3 y 6 meses (SPI3 y SPI6) es una herramienta útil para monitorear eventos de sequía en la región núcleo de cultivos de la República Argentina. El análisis de la severidad con estos índices ha permitido detectar los años que tuvieron eventos de sequías severas. De la comparación con la marcha de rendimiento de cultivos existe disminución en el rendimiento de cultivos en los años donde se registraron las sequías más severas sintetizarán los principales resultados del trabajo.

Las diferentes escalas de tiempo usadas en los índices estandarizados han permitido detectar eventos secos de propiedades diferentes, los que tienen duraciones bajas son detectados con mayor facilidad por SPI3 que por SPI6, para el cual un valor mensual por debajo del umbral pudo no significar un evento seco. Mientras que la escala de tiempo de 6 meses permite identificar más fácilmente eventos de mayor duración que son menos frecuentes, debido a que el tiempo de respuesta de este índice es más lento.

A nivel general los valores de PA tienen un comportamiento cercano a la media con un desvío estándar no muy separado de esta, posiblemente debido a que la precipitación originalmente no responde a una distribución de probabilidad normal como sí ocurre con los SPI. La respuesta de las anomalías de SM a los eventos secos es más lenta que las variables anteriores, y esto se aprecia en los histogramas de duración donde las frecuencias detectadas son indudablemente menores.

REFERENCIAS

- Dracup, J. A., K. S. Lee, and E. G. Paulson, 1980: On the definition of droughts. *Water Resour. Res.*, **16**, 297–302.
- Keyantash, J., and J. A. Dracup, 2002: The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1167–1180.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, *Eighth Conf. on applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, *Ninth Conf. on applied Climatology*, Dallas, TX, Amer. Meteor. Soc., 233-236.
- Mishra, A. K., Singh, V. P., Desai, V. R., 2009. Drought characterization: A probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*. Jan2009, Vol. 23 Issue 1, 41-55.

- Redmond, K. T., 2002. The depiction of drought. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1143-1147.
- Rodell, M., and Coauthors, 2004: The Global Land Data Assimilation System. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 381–394.
- Wilhite, D. A., 2006. Drought monitoring, mitigation, and preparedness in the U.S.: An end to end approach, paper presented at the Task Force on Socio-Economic Application of Public Water Services. WMO, Geneva, 15-18 May.