

Monitoreo y evaluación de las condiciones hídricas extremas (sequías y excesos de humedad) en Argentina

Zanvettor R.E.; A.C. Ravelo y P.E.C. Boletta

RESUMEN

Los extremos hídricos (sequías y excesos de humedad) son adversidades que ocurren en casi todas las regiones de Argentina. Dichos eventos generan enormes perjuicios a los sistemas productivos agrícolas en las distintas etapas de sus ciclos, dependiendo de su intensidad y duración. La variabilidad y la recurrencia de dichos extremos hídricos fue determinada mediante un continuo monitoreo y evaluación a nivel nacional por medio de indicadores agrometeorológicos y se pudo visualizar claramente su variabilidad temporal y geográfica para el período 1980-2016. Los resultados son difundidos a través de una página web en internet y actualizados mensualmente. Se evaluaron las pérdidas económicas en soja durante períodos recientes con sequías (2012) y con excesos de humedad (2016).

Palabras clave: Índices agrometeorológicos, variabilidad hídrica, pérdidas agrícolas

Zanvettor R.E.; A.C. Ravelo and P.E.C. Boletta, 2016. Monitoring and assessment of hydrological extremes (drought and moisture excess) in Argentina. RADA VII: 15-25

SUMMARY

Hydrological extremes (droughts and moisture excess) are adversities happening in most regions of Argentina. Such events cause large damages to the agriculture productive systems in different stages of the cycles, depending of their intensity and duration. The variability and recurrence of such hydrological extremes was determined by a continuing monitoring and assessment at national level using agrometeorological indices and the time and geographic variability for the period 1980-2016 was clearly established. The results are placed in internet web page and updated in a monthly basis. The economic losses in soybean crop were assessed during recent drought (2012) and excess moisture (2016) periods.

Key words: Agrometeorological indexes, hydrological variability, agriculture loss

R.E. Zanvettor, A.C. Ravelo y P.E.C. Boletta: CREA-IMBIV/CONICET, Ing. Agr. Félix A. Marrone 746, C. Universitaria, Córdoba. Correspondencia a: zanvetor@agro.unc.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Los conocimientos que se disponen en la actualidad no permiten evitar la ocurrencia de sequías o excesos de humedad, pero si es posible con series de tiempo de 30 o más años de datos agrometeorológicos que permitan un análisis estadístico confiable, realizar una identificación, ponderación y previsión de dichos fenómenos ambientales adversos.

El incremento de la variabilidad climática que se registra en las últimas décadas se pone en evidencia por una mayor frecuencia de ocurrencia de extremos hídricos cuya visualización más evidente son las sequías y las zonas afectadas por los excesos hídricos con superficies anegadas que permanecen cubiertas por las aguas durante un tiempo prolongado. En algunos casos y que una vez que las aguas se han retirado, los suelos recién recuperan su fertilidad luego de un tiempo prolongado de hasta tres o cuatro años. La sequía se la considera en la categoría de las adversidades naturales complejas porque su inicio es difícil de detectar y recién se manifiesta después que ha causado muchos efectos perjudiciales para el ambiente y la sociedad. Por lo general, hay áreas geográficas donde las sequías son recurrentes con distintas frecuencias y otras en las que ésta adversidad es un fenómeno esporádico, pero cuando se presenta provoca muchos daños ambientales, con sus afectaciones sociales y económicas derivadas.

Es necesario establecer la diferencia que existe entre las sequías y la aridez, dado que las regiones áridas poseen normalmente escasas precipitaciones y es una característica permanente del clima, mientras que las sequías son situaciones de adversidades climáticas temporarias (Ravelo, 2000).

Las sequías se clasifican, según su génesis y/o efectos adversos. Por lo general, se registra “sequía meteorológica” cuando las precipitaciones son muy inferiores a la esperada y la deficiencia hídrica se prolonga por un espacio de tiempo bastante largo. Cuando las condiciones de sequías se producen en zonas agrícolas y determinan una disminución de las reservas de agua del suelo y una elevada evapotranspiración, esa situación se denomina “sequía agrícola” y sus efectos son una considerable disminución de los rendimientos de los cultivos y de la productividad del ganado por la pérdida de la calidad de las pasturas o por la carencia de las mismas. En los casos donde la sequedad ambiental produce una pérdida considerable del caudal de las

aguas superficiales y un descenso del nivel de las napas de aguas subterráneas, se dice que se trata de una “sequía hidrológica”. Todos estos tipos de sequías determinan fuertes pérdidas económicas en las actividades agrícolas, ganaderas e industriales y también consecuencias sociales conexas, como son la inseguridad en los suministros alimentarios, estos efectos son propios de lo que se denomina una “sequía económica” (Ravelo, 1980; Planchuelo & Ravelo, 1985; White & Walcott, 2009; Ravelo, 2012). La carencia de agua suficiente para satisfacer la demanda que exige la atmósfera y los sistemas productivos, produce un estado de estrés en las plantas, que conduce a una disminución de los rendimientos de los cultivos y de la biomasa de las pasturas y de la calidad nutritiva. Las pérdidas económicas ocasionadas por las sequías son en algunos casos semejantes o superiores a las producidas por otras catástrofes naturales como son los huracanes, inundaciones, incendios y tsunamis.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha centralizado los esfuerzos internacionales para establecer estrategias de respuesta y mitigación a las sequías (EIRD/ONU, 2009). El reciente congreso sobre las sequías en Valencia (España) refleja la activa participación europea y de varios países a nivel mundial en las investigaciones y actividades relacionadas a la adversidad climática (ICD, 2015). En Argentina, existen varias instituciones que contribuyen al proceso de detección y evaluación de las sequías siendo entre ellas el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) mediante el registro de las precipitaciones y evaluación de variables ambientales, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) con el suministro y utilización de información satelital, el Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA) y el Centro de Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN/CONICET-UNC) la generación de índices específicos para evaluar los extremos hídricos.

Los extremos hídricos producen cuantiosas pérdidas económicas e importantes repercusiones negativas en la sociedad y el ambiente. Por lo tanto, es importante conocer su variabilidad temporal y geográfica de los excesos o deficiencias hídricas a los fines de lograr su mitigación e incrementar la resiliencia social y ambiental.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó un banco de datos agrometeorológicos consistente en series históricas de 1980 a 2016 de precipitación diaria y valores promedios de evapotranspiración para la red nacional de

estaciones climatológicas (CREAN, 2016; SMN, 2016). La base de datos ha incorporado valores mensuales del índice satelital de vegetación NDVI (USGS, 2016).

La identificación y evaluación de ocurrencia de extremos hídricos se ha realizado mediante la utilización de índices *ad hoc* cuya efectividad ha sido comprobada en varios países y se emplean con éxito en sistemas operativos de información ambiental (CONAGUA, 2014; CREAN, 2016; JRC, 2016; Ravelo et al., 2014a; UNL, 2016). Los índices utilizados son los siguientes:

- El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés), fue desarrollado por McKee (1993) y clasifica los periodos húmedos y secos en distintas categorías en una escala de nueve valores que van desde la sequía extrema a la humedad extrema. El SPI ha demostrado ser muy confiable para determinar la ocurrencia y evaluación de las sequías en la pradera pampeana argentina (Zanvettor y Ravelo, 2000).

- El Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PSDI por sus siglas en inglés) (Palmer, 1965) fue concebido para medir deficiencias y excesos de humedad en el suelo. Este índice se basa en el cálculo del balance hídrico del suelo mediante la consideración de los ingresos de agua pluviométrica y las pérdidas de agua por efecto de la demanda atmosférica. Este índice permite evaluar los periodos secos y húmedos, la variabilidad mensual y la tendencia de los extremos hídricos en una serie histórica de años.

- El Índice de Humedad de Cultivos (CMI por sus siglas en inglés) fue diseñado para evaluar el estado hídrico de los cultivos en las principales regiones productoras de Estados Unidos (Palmer, 1968), y se basa en los procedimientos para el cálculo del PSDI para monitorear en forma periódica las condiciones de cultivos o pasturas. A diferencia del PSDI que monitorea condiciones húmedas y secas en periodos extendidos, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones hídricas a corto plazo. El CMI responde rápidamente a las condiciones cambiantes y se puede utilizar para comparar las condiciones de humedad en diferentes lugares. La rápida respuesta de CMI a las condiciones reinantes no permite evaluar las condiciones hídricas a largo plazo. Por ejemplo, una lluvia corta y cuantiosa durante un periodo de sequía puede elevar considerablemente el valor de CMI y por lo tanto indique condiciones adecuadas o de exceso de humedad, mientras que el periodo de sequía a largo plazo aún continúa.

- El índice de vegetación normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés) (Tucker, 1979; Liu and Kogan,

1996; Kogan, 1997) fue utilizado usando diferencia de imágenes (NDVI_{dif}) del satélite MODIS (Justice & Townshend, 2002). Estas se generaron al restar una imagen de un mes determinado, en el cual los índices de sequía indicaban la ocurrencia del evento y una imagen promedio obtenida de la serie 1998-2015. La magnitud de las diferencias negativas o positivas indican la intensidad de la sequía o el exceso de humedad.

Los índices citados más arriba son una aproximación para describir la situación hídrica real y ellos en forma individual no se pueden considerar ideales. Por lo tanto, es importante utilizar dos o más índices simultáneamente para verificar la convergencia de resultados que pone en evidencia la ocurrencia de los extremos hídricos. Por otro lado, la ventaja de usar índices es que ellos pueden ser representados en gráficos o mapas para visualizar de una forma clara su variabilidad temporal o geográfica y así monitorear la presencia de una sequía o de exceso hídrico.

Ravelo et al. (2014b) proponen un sistema de monitoreo, evaluación y pronóstico de las sequías que puede ser utilizado para la planificación de acciones de alerta temprana y mitigación de los fenómenos de sequía. Dicho sistema ha sido implementado en forma operativa en el CREAN para generar índices mensuales utilizados en el monitoreo y evaluación de los extremos hídricos. Los resultados se generan mensualmente y están disponibles la página web (www.crean.unc.edu.ar). La Figura 1 muestra los índices disponibles en una serie histórica desde 1980 a la fecha en dos tipos de formatos digitales.

El sistema de monitoreo y evaluación de los extremos hídricos que posee el CREAN es utilizado en distintas escalas geográficas tanto a nivel provincial como nacional. El cálculo de los índices y su representación gráfica se realiza mediante el programa de computadora denominado Sistema Operativo de Sequias (SOS). El SOS consiste en un programa desarrollado en lenguaje multiplataforma C++ y utiliza módulos del sistema operativo Windows e IDRISI para su ejecución y obtención de resultados numéricos y cartográficos (Ravelo, 2012).

Las pérdidas agro-económicas causadas por sequías o excesos hídricos en el país han sido estimadas considerando las reducciones en los rendimientos por el efecto de las deficiencias o excesos hídricos, respecto a los rendimientos promedios para la región. Las estadísticas de los cultivos (serie 1990-2014) fueron provistas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP, 2013) y la Bolsa de Cereales de Córdoba



Figura 1. Diagrama de flujo de los índices operativos para el monitoreo y evaluación de los extremos hídricos disponibles en la página web del CREAN (www.crean.unc.edu.ar).

(BCC, 2016). Para el análisis de daños por sequías se compararon porcentualmente los rendimientos registrados en 2011-2012 con los rendimientos promedios de los años sin la ocurrencia de sequías extraídos de la serie de valores de PDSI que marcaron un índice superior a $-0,9$. La reducción porcentual se utilizó para determinar las pérdidas en producción de granos (toneladas) y sus valores monetarios (en dólares) según el precio de los granos en el momento de cosecha. En el caso de daños por excesos de humedad durante 2015/16 se presentan las producciones perdidas y sus montos económicos para departamentos seleccionados de la provincia de Córdoba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como consecuencia de un episodio de sequía extrema ocurrido durante el período primavero-estival de 2008-2009 en la provincia de Córdoba se puso en marcha un programa de “Monitoreo, Evaluación e Impacto de las Sequías en la Provincia de Córdoba”. Los objetivos del programa fueron generar boletines cada diez días o decádicos que evaluaran la situación agrometeorológica provincial y los impactos de la sequía sobre los cultivos y difundir esa información en forma impresa y digital

a las autoridades provinciales y a los agricultores.

La Figura 2 muestra la carátula de un Boletín elaborado por el CREAN y los mapas de la provincia de Córdoba en donde se representan las condiciones de sequía usando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para fines de agosto y principios de setiembre de 2008.

En el primer mapa (3ra década de agosto) se puede observar que una sequía moderada indicada con color amarillo, se extiende en forma de medialuna por el oeste de la provincia, sequías severas indicadas en color marrón claro y sequías extremas señaladas con color rojo, se extienden hacia el Este provincial. En el mapa que se encuentra a continuación (2da. década de setiembre) se observa una retracción en las áreas con sequías, en particular en la zona noroeste como resultado de precipitaciones registradas en la zona centro y norte de la provincia; sin embargo, el epicentro de las sequías extremas se mantiene en el Departamento de Marcos Juárez que es una de las zonas más importante de la producción agrícola provincial. En el Boletín se dan a conocer también los estados de los principales cultivos y la afectación por la falta de agua. Se pudo comprobar la efectividad de la información suministrada en los boletines para establecer la vulnerabilidad de los cultivos durante una de las sequías de mayor

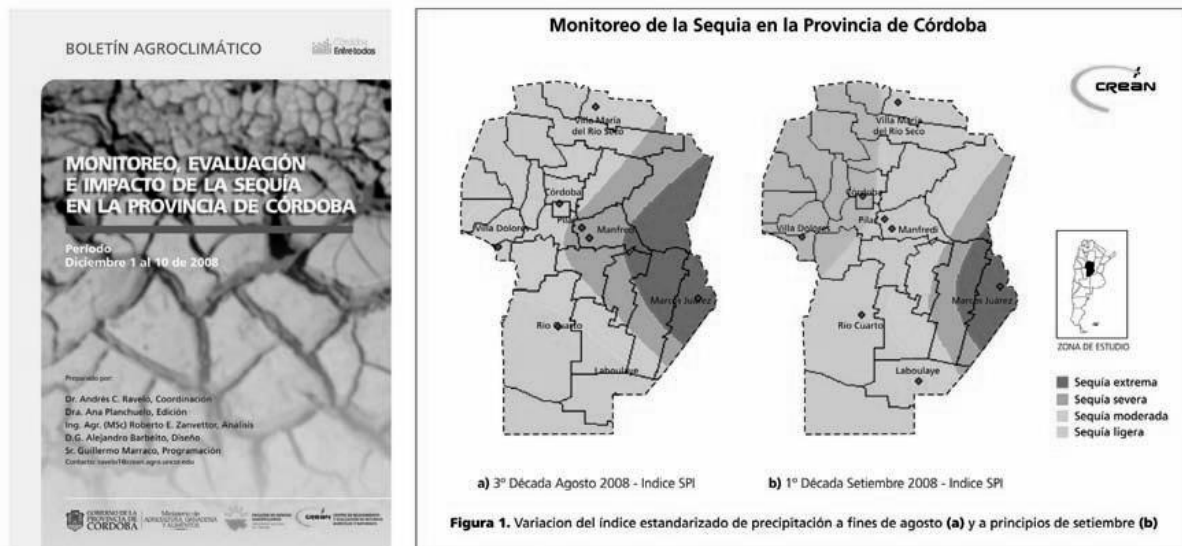


Figura 2. Carátula del Boletín y mapas de la provincia de Córdoba mostrando las áreas afectadas por sequías según la escala de colores del Índice Estandarizado de Precipitación, para los meses de agosto (3ra década) y septiembre (1ra década) de 2008.

magnitud alcanzada en los últimos 28 años para Marcos Juárez y alrededores.

La Figura 3 muestra un ejemplo del PSDI mensual para la localidad de Marcos Juárez (provincia de Córdoba, Argentina) en una serie de 30 años, desde 1985 al 2016. En la figura se puede apreciar que las sequías de mayor intensidad en épocas recientes corresponden a los periodos 2007-2009 y 2011-2012. Las sequías de los meses del primer período variaron desde sequía extrema a sequía

severa, siendo los meses de marzo de 2008 hasta agosto de 2009 los más críticos. En 2011-2012 el período ha sido más corto y las sequías no fueron tan intensas, pero se presentaron durante el ciclo de estado fenológico crítico de los cultivos termófilos, produciendo una fuerte caída de la superficie cosechada y de los rendimientos. Los excesos de humedad corresponden a meses muy húmedos desde octubre de 2012 hasta el mes de abril de 2014 (oscilando entre humedad extrema

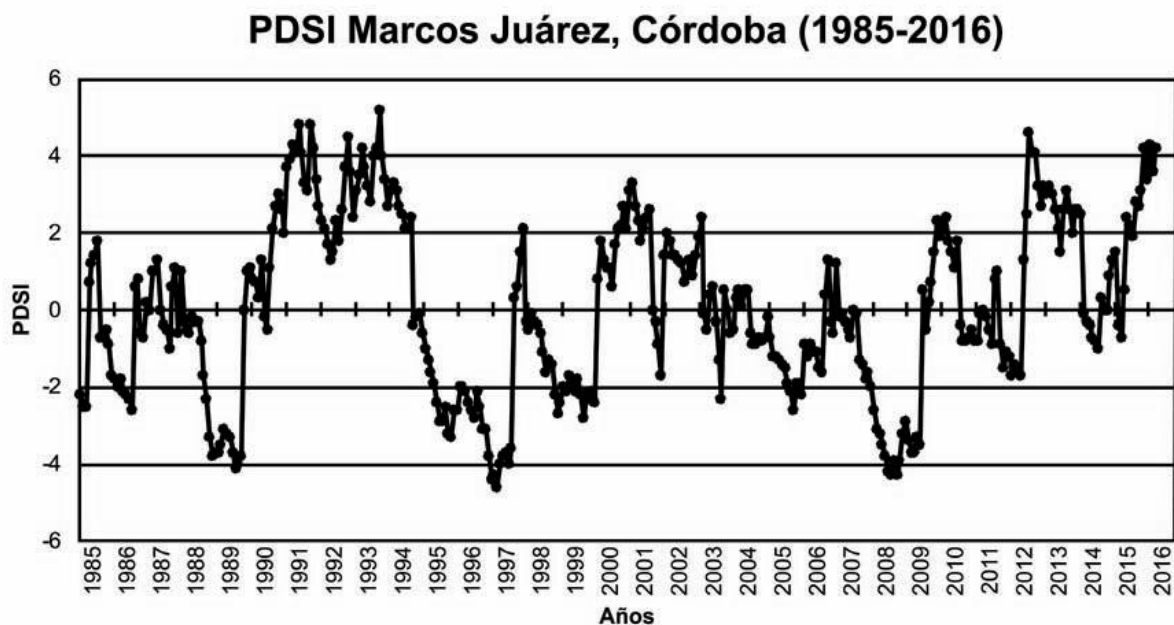


Figura 3. Variabilidad mensual del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PSDI) para una serie de años (1985-2016) de la localidad de Marcos Juárez, Argentina.

a humedad excesiva). Se observa un período seco hacia fines de 2014 y se reinicia el período húmedo nuevamente en el mes de enero de 2015, prolongándose durante todo el año y hasta la primera parte de 2016.

La necesidad de disponer con un monitoreo de los extremos hídricos a nivel nacional y la predisposición del Servicio Meteorológico Nacional de proveer datos pluviométricos, permitió realizar, a partir del año 2000 hasta la fecha, el cálculo mensual de los índices agrometeorológicos para todo el país. Los mapas generados fueron puestos a disposición de todos los usuarios a través de la página web del CREAN.

La Figura 4 presenta los mapas generados con los valores de los índices PDSI, SPI3 y CMI para el mes de enero de 2012, el cual fue un mes crítico

por la severidad de una sequía generalizada en todo el país.

Puede apreciarse la importante extensión de la ocurrencia de la adversidad climática así como la intensidad de la misma. Los tres índices registraron valores de sequía severa a extrema en amplias áreas de la zona central del país (área agrícola por excelencia) cuyas consecuencias fueron importantes pérdidas de rendimientos en los cultivos de soja y maíz (Figura 5). Asimismo, la sequía afectó el noroeste de Patagonia (área de pasturas naturales y bosques) con la ocurrencia de grandes incendios rurales.

En el otro extremo del espectro hídrico se encuentran los excesos de humedad resultantes de precipitaciones anormalmente elevadas por un tiempo considerable, en el cual se supera la

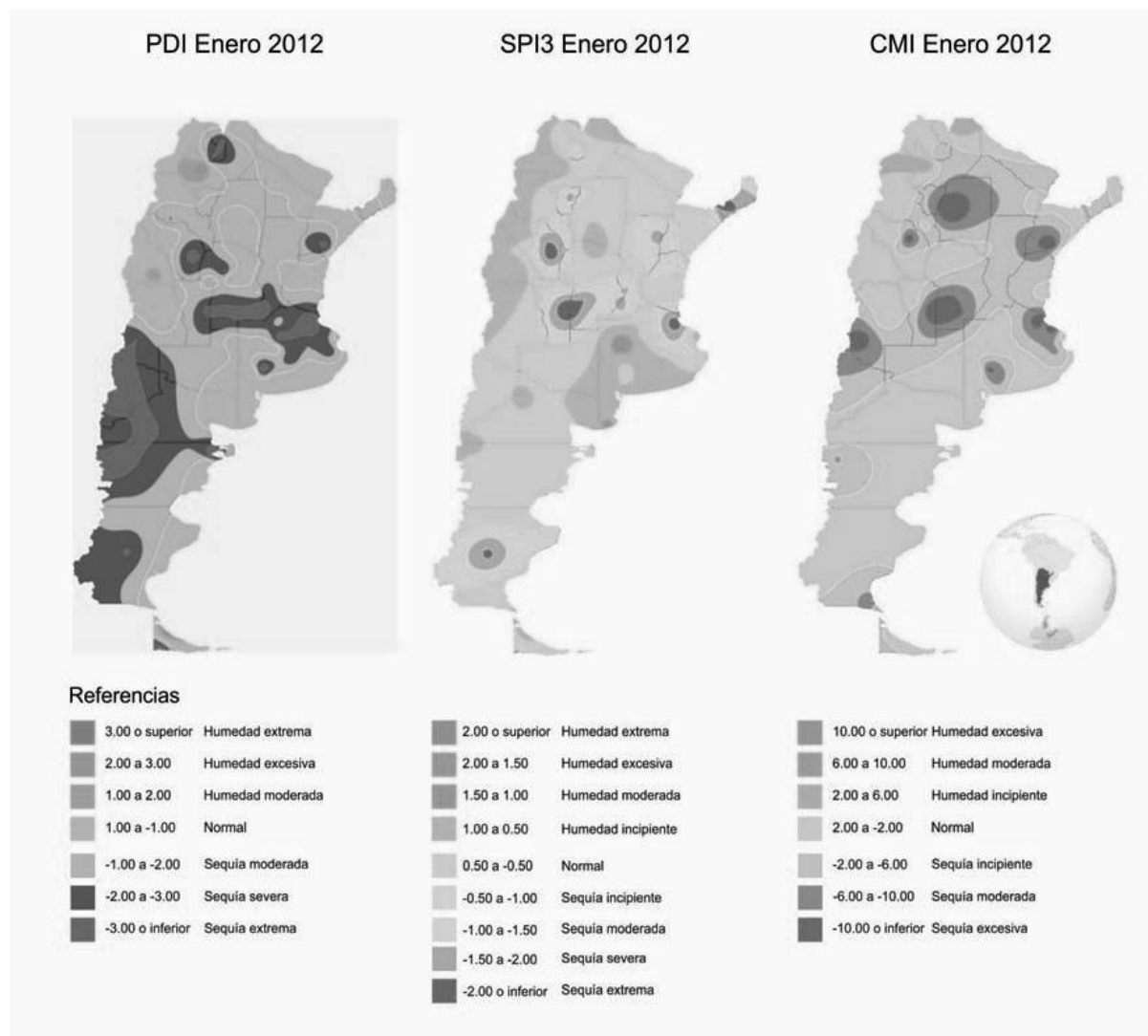


Figura 4. Ocurrencia de sequías severas y extremas en amplias zonas del país indicadas por el PDSI, SPI3 y el CMI durante Enero 2012

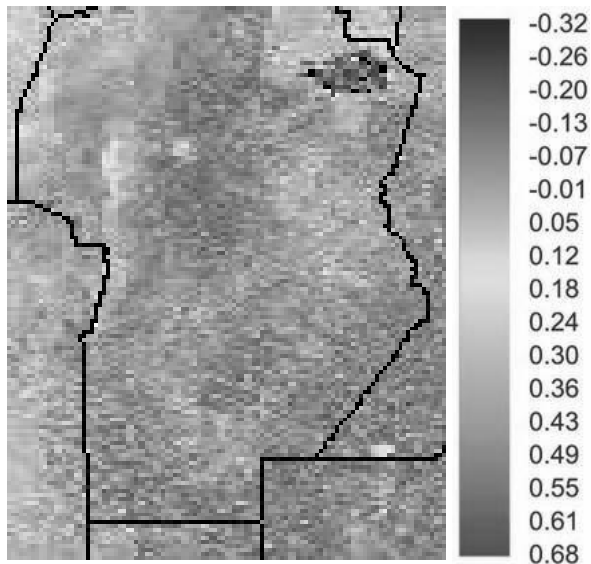


Figura 5. Imágen de la diferencia del NDVI (NDVI dif) del satélite MODIS para Febrero 2012. Las áreas amarillas indican vegetación con condiciones por debajo de lo normal asociadas con sequías.

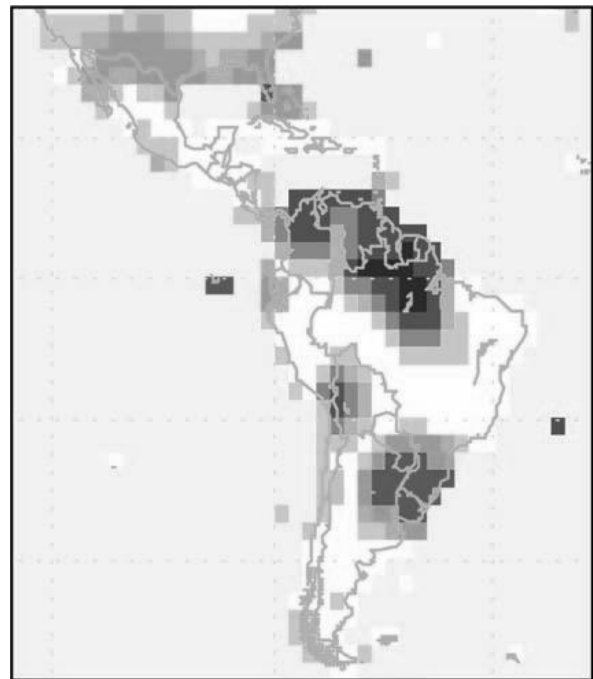


Figura 6. Anomalías pluviométricas durante la campaña agrícola 2015/16. Los colores indican ocurrencia de sequías (áreas en marrón-amarillo) y de excesos hídricos (áreas en verde-azul). (Fuente: IRI-Columbia, 2015).

capacidad de almacenaje de agua de los suelos. Las consecuencias resultantes son campos anegados, pérdida de fertilidad de los suelos, proliferación de enfermedades criptogámicas y bacterianas y consecuentemente pérdidas de superficies cultivadas y bajos rendimientos.

Durante 2015 y 2016 se registra la ocurrencia del fenómeno El Niño que produjo excesos de precipitaciones en numerosas regiones del continente americano (Figura 6), así como también deficiencias pluviométricas en Centroamérica y norte de Sudamérica. En Argentina, puede observarse que los excesos hídricos se ubican en la pradera pampeana, y en la región noreste del país.

Durante la campaña agrícola 2015/16 se registraron precipitaciones elevadas y por encima de los valores normales, principalmente durante el mes de Febrero de 2016 en el centro del país. Como consecuencia de esas precipitaciones extremas, los excesos de humedad afectaron durante varios meses a grandes extensiones del

Noreste argentino y varias provincias. La Figura 7 presenta al PDSI mensual para los meses de enero a junio 2016. Pueden observarse las zonas afectadas que se indican en verde en una extensa región en el centro del país que se extiende desde el litoral hasta Cuyo.

Las Figuras 8, 9 y 10 presentan ejemplos de las consecuencias de los excesos hídricos registrados durante la campaña agrícola 2015/16 en la provincia de Córdoba.

Las pérdidas agro-económicas causadas por la sequía observada en 2011-2012 en la zona central del país resultaron de reducciones de los rendimientos de soja del orden del 19 al 30% en los tres departamentos considerados donde las pérdidas económicas superaron los 350 millones de dólares (Tabla 1).

Tabla 1. Evaluación de los rendimientos de soja en la campaña con sequía agrícola (2011/2012) y los rendimientos promedios de los años sin sequías (serie 1990-2014) y pérdidas económicas para Departamentos seleccionados de Santa Fe y Córdoba. (Precio del grano: 261 USD/tn).

Depto. / Partido	Campaña Agrícola	Sup. cosechada (ha)	Rend. (kg/ha)	Rend. medio sin Sequía (kg/ha)	Dif. en rendimiento (%)	Pérdidas (tn)	Pérdidas econón. (miles de USD)
Marcos Juárez (Cba.)	2011/12	548.700	2.709	3.484	22,26	425.211	111.065
Unión (Cba.)	2011/12	526.400	2.312	3.327	30,50	533.526	139.357
Gral. López (S. Fe)	2011/12	660.000	2.725	3.402	19,91	446.820	116.709

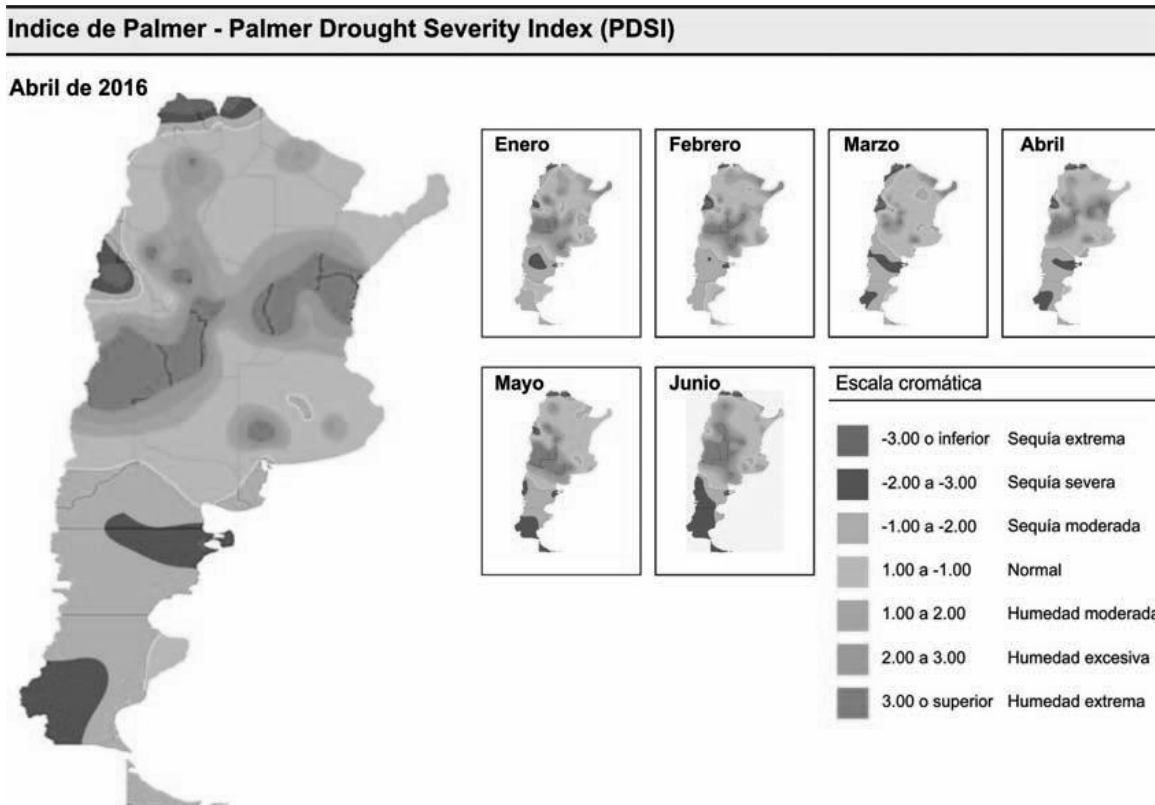


Figura 7. Zonas con excesos hídricos (en verde) según el PDSI para los meses de enero a junio 2016.

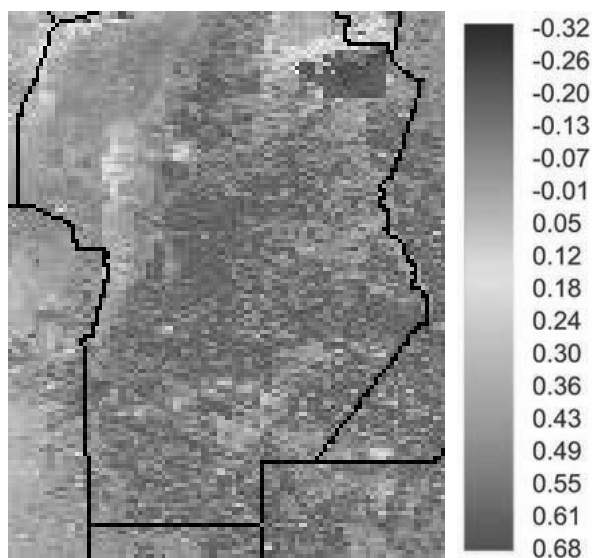


Figura 8. Imágen de la diferencia del NDVI (NDVI dif) del satélite MODIS para Febrero 2016. Las áreas verdes más intensas indican vegetación con condiciones sobre lo normal asociadas con excesos hídricos.

Como consecuencia de las lluvias excesivas asociadas al fenómeno de El Niño, durante de la campaña 2015/2016 y en los departamentos Unión y Marcos Juárez de Córdoba, se han registrado pérdidas significativas de producción en los cultivos de ciclo estival. Los resultados preliminares sobre la producción de soja se ubica en los 15,4 millones de toneladas, con pérdidas de 410.000 toneladas. El rendimiento ponderado es de 35 qq/ha mientras que el promedio provincial de daños a nivel de comercialización se encuentra cercano al 10% o sea aproximadamente 1.500.000 toneladas a nivel provincial. Los departamentos más afectados son Gral. San Martín (17%), San Justo (21%), Tercero Arriba (18%) y Unión (17%).

La Tabla 2 presenta las pérdidas de áreas cultivadas causadas por los excesos hídricos de la campaña 2015/16 en dos departamentos de la provincia de Córdoba.

El análisis comparativo de los daños resultantes de extremos hídricos durante la campaña

Tabla 2. Pérdidas estimadas de soja en los departamentos Unión y Marcos Juárez de la provincia de Córdoba durante la campaña 2015/16 (Fuente: Bolsa de Cereales de Córdoba)

Departamentos	Cultivo	Producción perdida (tn)	Pérdidas en millones de dólares
Marcos Juárez	Soja	790.376	208,00
Unión	Soja	367.557	99,69



Figura 9. Vista aérea de campos anegados durante la campaña agrícola 2015/16 por excesos de humedad en la provincia de Córdoba. (Fuente: Bolsa de Cereales de Córdoba, 2016).



Figura 10. Daños observados en el cultivo de soja durante la campaña agrícola 2015/16 por excesos de humedad en la provincia de Córdoba. (Fuente: Bolsa de Cereales de Córdoba, 2016).

agrícola con sequía (2011/12) y con excesos de humedad (2015/16) indica que el nivel de pérdidas económicas son similares y ascienden a cientos de millones de dólares a nivel de la provincia de Córdoba. Algo similar puede aseverarse para las otras provincias productoras de granos donde se

observaron los extremos hídricos. Los excesos hídricos son más espectaculares y de mayor impacto mediático que las sequías; sin embargo, ambos eventos son responsables de la disrupción de las actividades económicas y alteraciones importantes en las comunidades rurales y urbanas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra la efectividad del monitoreo y evaluación de los extremos hídricos (sequías y excesos de humedad) mediante la utilización de índices agrometeorológicos. Dicha actividad desarrollada a escala nacional está dirigida a reducir los impactos negativos de dichos extremos y aumentar la resiliencia de las comunidades más vulnerables. La información relativa a la distribución geográfica de los eventos extremos, así como su duración e intensidad, puede ser utilizada para la toma de decisiones y el establecimiento de mecanismos de mitigación y respuesta a la adversidad climática. Esta información puede ser integrada al conjunto de los aspectos ambientales y socio-económicos que deben ser adecuadamente considerados para lograr un uso sustentable del recurso agua.

AGRADECIMIENTOS

A Alejandro Barbeito por la preparación de las ilustraciones y a Alfredo J. Santa por el procesamiento de las imágenes satelitales.

BIBLIOGRAFÍA

- BCC, 2016. Bolsa de Cereales de Córdoba. <http://www.agrovoz.com.ar/actualidad/lasinundaciones-dejan-una-perdida-de-13000-millones-en-cordoba>. Consultada el 15/07/2016.
- CONAGUA, 2014. Comisión Nacional del Agua/ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía, Consejos de Cuenca Ríos Presidio al San Pedro, Ríos Mocorito al Quelite y Fuerte al Sinaloa. <<http://www.conagua.gob.mx/pronacose/Contenido.aspx?n1=7&n2=54>> Consultada el 12/01/2014.
- CREAN, 2016. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, CONICET/UNC. Monitoreo de Sequías. <<http://crean.org.ar/monitoreo>> Consultada el 15/07/2016.
- EIRD/ONU, 2009. Estrategia internacional para la reducción de desastres. Organización de las Naciones Unidas. <www.eird.org/eng/revista/no-16-2009/art18.html> Consultada el 20/10/2013.
- ICD, 2015. International Conference on Drought. Research and Science-Policy Interfacing. 10-13 March 2015, Valencia, Spain.
- JRC, 2016. Drought European Observatory, Joint Research Centre, European Union. <http://edo.jrc.ec.europa.eu>
- Justice, C.O., J.R.G. Townshend, 2002. Special issue on the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): A new generation of land surface monitoring. *Remote Sens. Environ.* 83: 1-2.
- Kogan, F.N. (1997) Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 621-636.
- IRI-Columbia, 2015. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University. <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/seasonal-climate-forecasts/> Consultada el 15/10/2015
- Liu, W.T., F.N. Kogan, 1996. Monitoring regional drought using the vegetation condition index, *International Journal of Remote Sensing* 17(14):2761-2782.
- MAGyP, 2013. Estadísticas agrícolas. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Min. Agric., Gan. y Pesca, Argentina. <http://www.siiia.gov.ar/series>
- McKee, T.B., N.J. Doesken and, J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, Amer. Meteor. Soc., pp. 179-184.
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. *Research Paper No. 45*. U.S. Weather Bureau. [NOAA Library and Information Services Division, Washington, D.C. 20852]
- Palmer, W.C., 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21, 156-161.
- Planchuelo, A.M., A.C. Ravelo, 1985. Drought/Crop Condition Assessment Methods for Northeast Brazil, Mexico, Paraguay and Uruguay. Edit. Univ. Missouri Press, Missouri, U.S.A. 128 pp.
- Ravelo, A.C., 1980. Drought/Food production problems in Haiti: A case study for 1978. Tech. Report to USAID/ OFDA, 57 pp.
- Ravelo, A.C., 2000. Caracterización Agroclimática de las sequías extremas en la región pampeana argentina. *Rev. Facultad Agronomía* 20(2): 187-192.
- Ravelo, A.C., 2012. Informes Finales del Proyecto PREMIA, OMM - CONAGUA. <<https://sites.google.com/a/wmo.int/mex/system/app/pages/search?scope=search-site&q=ravelo>> Consultada el 22/08/2013.
- Ravelo, A.C., R. Sanz Ramos, C. Douriet Cárdenas, 2014a. Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México. *AgriScientia* 31(1):11-24.
- Ravelo, A.C, Zanvetor, R.E y P. Boletta. 2014b. Atlas de Sequías de la república Argentina. ISBN 978-950-33-1198-0. http://www.crean.unc.edu.ar/atlas/atlas_sequia.html.
- SMN, 2016. Servicio Meteorológico Nacional. Datos pluviométricos mensuales, en línea: <http://www.smn.gov.ar/> consultado 3/8/2016.

- Tucker, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8(2),127-150.
- UNL, 2016. The National Drought Mitigation Center, University of Nebraska Lincoln. <http://droughtmonitor.unl.edu/>.
- USGS, 2016. MODIS satellite images. https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13a3.
- White, D.H., J.J. Walcott, 2009, 'The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review'. *Crop and Pasture Science* 60 (7): 599-616.
- Zanvettor R.E & A.C. Ravelo, 2000. Using the SPI to monitor the 1999-2000 drought in Northeastern Argentina. *Drought Network News* 12(3): 3-4.