

CENTRO DE RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN DE RECURSOS AGRÍCOLAS Y NATURALES



Atlas de Sequías de la República Argentina

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

2014



Universidad
Nacional
de Córdoba

ISBN 978-950-33-1195-0

ATLAS DE SEQUÍAS

DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

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

**CREAN / Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales
UNC -CONICET**

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	2
CARACTERÍSTICAS DE LAS SEQUÍAS.....	3
- Tipos de sequías	3
DESCRIPCIÓN DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA	5
a. Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI)	6
b. Índice estandarizado de precipitación (SPI)	6
c. Índice de vegetación de diferencia normalizada del sensor satelital MODIS (NDVI) ..	7
APLICACIONES DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA	7
a. Pérdidas en agricultura por las sequías.....	7
- Análisis de las sequías extremas en 2008/09 y 2011/12.....	8
b. Período de retorno de sequías	9
c. Evaluación satelital de las sequías mediante el NDVI.....	10
d. Ocurrencia del ENOS y las sequías en Argentina	11
e. Pronósticos / alerta temprana de las sequías.....	14
ANEXOS (En sitio de internet): http://www.crean.unc.edu.ar/atlas/atlas_sequia.html	15
AGRADECIMIENTOS	15
BIBLIOGRAFIA	16

PRÓLOGO

La presente edición del Atlas de Sequías de la República Argentina tiene por objetivo llegar a la comunidad agropecuaria del país con una información relevante sobre una de las mayores adversidades climáticas que afectan a la producción de granos y pasturas. Se trata de una colección de mapas e imágenes de índices de sequías para el período 1980 a 2012. La eficacia de dichos índices para identificar la ocurrencia e intensidad de las sequías ha sido validada en numerosos trabajos científicos. Asimismo, se incluye una serie de aproximadamente 14 años de imágenes satelitales de un índice de vegetación para análisis complementarios del efecto de las deficiencias hídricas. A los fines ilustrativos del uso de dicha información y datos, se incluyen ejemplos de análisis agro-económicos, estadísticos, climáticos de los índices de sequía y de imágenes satelitales. Dichos ejemplos son sólo una fracción de los posibles usos de los contenidos del Atlas, particularmente para la toma de decisiones por parte de los afectados por el fenómeno recurrente de las sequías. Decisiones que deben estar orientadas al desarrollo de procesos de mitigación y adaptación a la adversidad climática mediante la identificación de factores de vulnerabilidades y riesgos de sequías.

La actualización de los mapas de sequías del Atlas para fechas más recientes puede realizarse a través de la página web del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN)

http://www.crean.unc.edu.ar/secciones/monitoreo/monitoreo_intro.html

Córdoba (Argentina), Septiembre de 2014.

Version 1.0

Andrés C. Ravelo
Roberto E. Zanvettor
Pedro E.C. Boletta

CARACTERÍSTICAS DE LAS SEQUÍAS

Las sequías constituyen uno de los fenómenos climáticos más perjudiciales para la sociedad, cuyos efectos pueden observarse en regiones muy extensas y durante períodos variables desde unos pocos meses hasta varios años. La sequía se manifiesta toda vez que se presente un período prolongado con escasas o nulas precipitaciones (Mishra y Singh, 2011; Ravelo et al., 2014). Las características principales son su recurrencia aperiódica y su variabilidad en intensidad y distribución geográfica (Wilhite et al., 2007). Pueden registrarse sequías en todas las regiones del mundo y es diferente de la sequedad persistente, característica de las zonas áridas y de la sequedad estacional de los climas sub-húmedo secos y semiáridos lo cual es una característica normal del clima de la región.

La cantidad de agua existente en el planeta es particularmente constante y el ciclo hidrológico permite el reciclaje del elemento hídrico con variaciones importantes en el tiempo y en el espacio. Dichas variaciones se presentan de distintas formas y una de ellas es la disminución relativa de la disponibilidad de agua en un área geográfica en relación a las condiciones “medias” o normales (Wilhite and Buchanan-Smith, 2005; Bates et al., 2008). El reconocimiento de la sequía, como fenómeno hidrológico extremo, se diferencia mucho de las características de otros eventos, como por ejemplo las grandes crecientes. Se ha llegado a concluir que la sequía es un “*no evento*”, debido a que su ocurrencia, sobre todo en su inicio, no es fácilmente detectable y se la reconoce por los efectos adversos que produce.

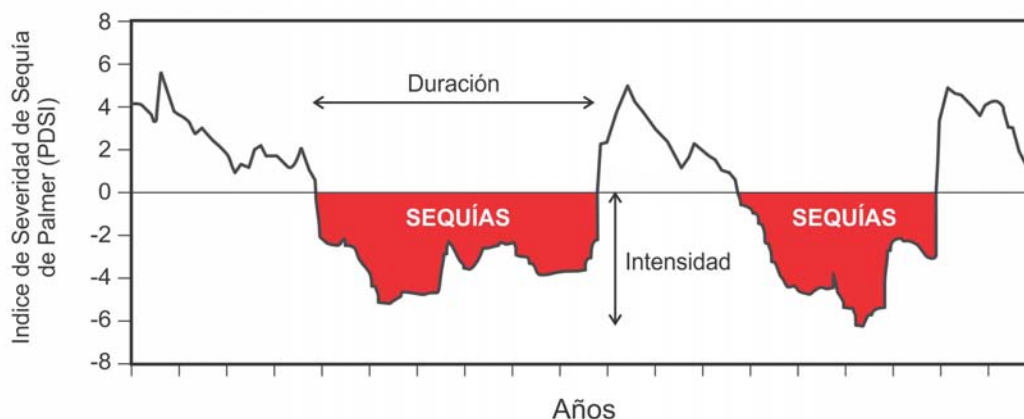


Figura 1. Representación de la ocurrencia de sequías con indicación de su duración e intensidad mediante el índice de severidad de sequía de Palmer.

- Tipos de sequías

Las sequías pueden clasificarse (Ravelo et al, 2014), según su génesis y/o efectos adversos, en:

- 1) Sequía meteorológica: Se presenta cuando la precipitación es muy inferior a la esperada y la deficiencia hídrica se extiende por un largo período. La intensificación y prolongación en el tiempo de esta clase conduce a la aparición de los otros tipos de sequía.
- 2) Sequía agrícola: Se registra cuando los reducidos niveles de precipitación y las reservas hídricas del suelo asociados a elevadas pérdidas de agua por evapotranspiración causan una disminución considerable de los rendimientos de cultivos y la productividad del ganado por deterioro de las pasturas.
- 3) Sequía hidrológica: Se produce cuando hay un déficit continuo en la escorrentía de superficie con un nivel inferior a las condiciones normales y se observa una disminución del nivel de las aguas subterráneas.
- 4) Sequía socio-económica: Es consecuencia de la ocurrencia de los tipos de sequías anteriores, por lo cual la comunidad y sus actividades económicas se ven severamente afectadas.

Las clases enunciadas se presentan en el orden de aparición del evento y con el consecuente impacto negativo (Fig.2).

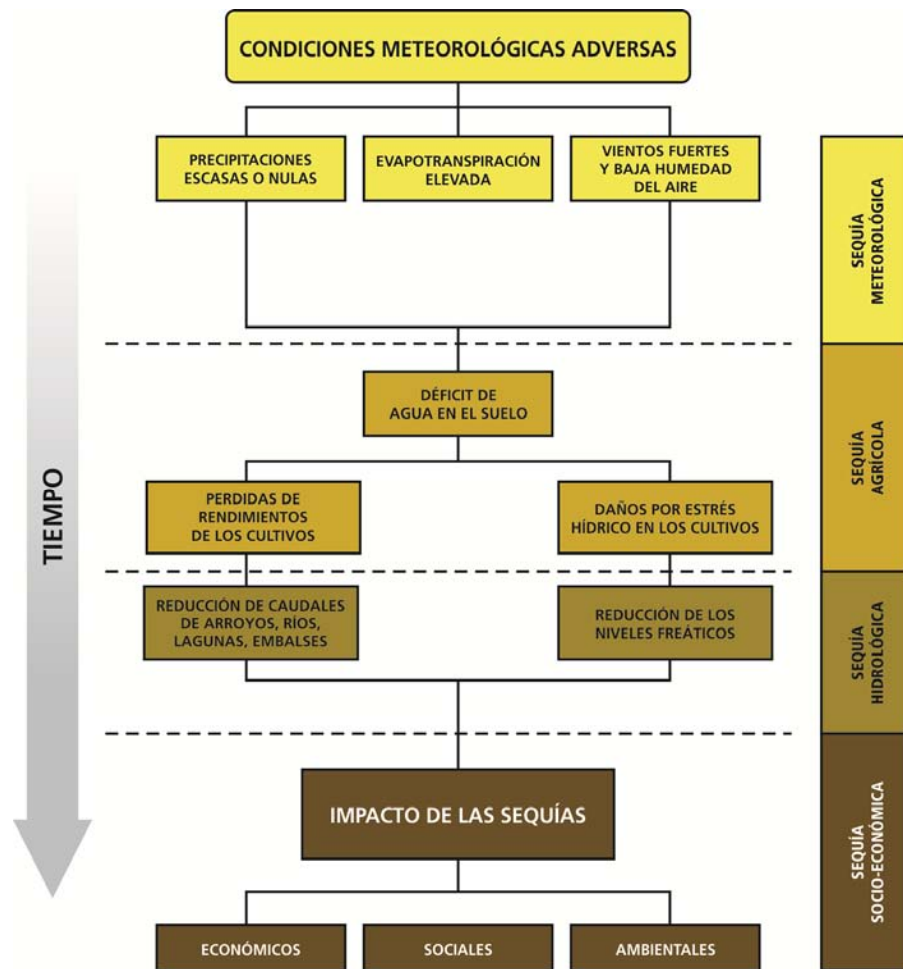


Figura 2. Causas y consecuencias de las distintas clases de sequías e impactos adversos.

Los comienzos de una sequía son poco perceptibles, pero una vez establecida puede identificarse por sus efectos negativos sobre la producción de cultivos, las condiciones de pastoreo, el riesgo de incendios —debido a la acumulación de materias secas— y la aceleración de la desertificación por la pérdida de cobertura vegetal en terrenos fácilmente erosionables. Todo esto trae aparejado fuertes pérdidas en actividades agrícolas, ganaderas e industriales y también consecuencias sociales y económicas conexas, como son la inseguridad en los suministros alimentarios, y pérdidas económicas en el sector agrícola ganadero e industrial (Ravelo, 1980; Planchuelo & Ravelo, 1985; White & Walcott, 2009). Las pérdidas económicas son similares y en algunos casos muy superiores a las ocurridas con otras catástrofes naturales (huracanes, inundaciones, incendios, etc.).

Considerando las cuantiosas pérdidas económicas y sus repercusiones en la sociedad, la Convención para la Lucha contra la Desertificación y las Sequías de la Organización de la Naciones Unidas (ONU) ha centralizado los esfuerzos internacionales para establecer estrategias de respuesta y mitigación a las sequías (EIRD/ONU, 2009). En numerosos países se han creado organismos para la lucha contra las sequías. En Estados Unidos se ha conformado una comisión que ha definido los lineamientos para que las instituciones de los sectores públicos y privados adopten medidas que ayuden a mitigar los efectos de las sequías (USNDPC, 2000). En México se ha puesto en marcha el proyecto PRONACOSE (Programa Nacional Contra la Sequía) a partir de una iniciativa presidencial (CONAGUA, 2014).

En Argentina, las sequías fueron analizadas desde el punto de vista climático por Ravelo y Rotondo (1987) quienes utilizaron el índice de sequía de Palmer para la identificación y caracterización de sequías ocurridas entre 1931 y 1958 en Río Cuarto, Córdoba. Boletta et al., (1989) observaron el comportamiento fenológico de la vegetación como consecuencia de los efectos de la sequía de 1988/1989 en la Selva Montana de la Sierra de San Javier-Tucumán. La defoliación fue muy intensa y en el mes de diciembre de 1988 el follaje era muy escaso y el suelo estaba cubierto en algunas partes con una alfombra de hojarasca de más de 60 cm de profundidad. En la campaña agrícola 1988/89 en Santiago del Estero se produjeron grandes pérdidas de rendimientos en los cultivos estivales y mortandad de animales por la carencia de pasturas y agua (Boletta et al., 1989). Minetti et al. (2007) analizan los aspectos climáticos de las sequías en la pampa húmeda argentina y determinan sus efectos sobre la productividad del maíz. En el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN, 2014) se realiza el monitoreo de la ocurrencia de sequías desde el año 2000.

DESCRIPCIÓN DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA

Existen numerosos índices para indicar la presencia de sequías con distintos requerimientos de datos para su determinación y que proveen diferentes tipos de evaluaciones del evento. En este trabajo se utilizaron para determinar la ocurrencia, intensidad y distribución geográfica de las sequías los siguientes índices: Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI por sus siglas en inglés) (Palmer, 1965), índice estandarizado de precipitación (SPI por sus

siglas en inglés) (McKee et al., 1993) y el índice de vegetación de diferencia normalizada del sensor satelital MODIS (NDVI por sus siglas en inglés) (Justice & Townshend, 2002) los cuales han demostrado ser muy confiables para la determinación de esta adversidad.

En forma breve se describe a continuación en que se basan cada uno de los índices utilizados.

a. Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI)

El PDSI fue desarrollado para estimar las condiciones de la humedad edáfica e identificar situaciones de exceso, normalidad o deficiencia hídrica. Se basa en el concepto de demanda-suministro de agua o balance hídrico. El procedimiento de cálculo requiere datos de precipitación, evapotranspiración potencial y capacidad de retención de agua del suelo. La situación hídrica mensual se determina teniendo en cuenta las desviaciones de la humedad edáfica actual con respecto a un valor medio de la serie. La Tabla 1 presenta las clases del PDSI (desde sequía extrema a humedad extrema), sus rangos de valores y la escala cromática usada en la representación cartográfica.

Tabla 1. Clases, valores y asignación cromática del PDSI, SPI y NDVI

PDSI	SPI	NDVI
-3.00 o inferior Sequia extrema	-2.00 o superior Sequia extrema	
-2.00 a -3.00 Sequia severa	-1.50 a -2.00 Sequia severa	
-1.00 a -2.00 Sequia moderada	-1.00 a -1.50 Sequia moderada	
-1.00 a 1.00 Normal	-0.50 a 1.00 Sequias incipiente	
1.00 a 2.00 Humedad moderada	0.50 a 0.50 Normal	
2.00 a 3.00 Humedad excesiva	0.50 a 1.00 Humedad incipiente	
3.00 o superior Humedad extrema	1.00 a 1.50 Humedad moderada	
	1.50 a 2.00 Humedad excesiva	
	2.00 o superior Humedad extrema	

b. Índice estandarizado de precipitación (SPI)

El SPI se basa en una probabilidad estadística de ocurrencia de precipitación y fue diseñado para comportarse como un indicador temporal y espacial de la sequía (McKee et al., 1993). El SPI se lo calcula mediante precipitaciones de un período suficientemente largo, el que es primero ajustado a una distribución Gamma, dado que es la que mejor ajusta a las series de precipitaciones mensuales. A posteriori, la probabilidad acumulada obtenida con la distribución Gamma es transformada a una distribución normal con una

media igual a cero y una desviación estándar igual a uno. El SPI puede ser obtenido para diferentes escalas de tiempo (1, 3, 6, 12 y 24 meses), lo cual permite evaluar los déficits de precipitación en las diferentes fuentes de agua (agua subterránea, embalses, humedad del suelo y escurrimientos superficiales). Se consideran que un período de sequía comienza cuando el SPI alcanza un valor de -0,5 y que el mismo termina cuando los valores de SPI se tornan nuevamente positivos. En la Tabla 1 se presentan las distintas clases del SPI (desde sequía extrema a humedad extrema), sus rangos de valores y la escala cromática usada en la representación cartográfica.

c. Índice de vegetación de diferencia normalizada del sensor satelital MODIS (NDVI)

El NDVI es uno de los índices de vegetación más usado y se lo obtiene utilizando los valores digitales de reflectancia del infra-rojo cercano, banda que no es absorbida por la vegetación en el proceso fotosintético y la de banda roja que es absorbida por la clorofila para la síntesis de materia orgánica. Estos valores son suministrados por el sensor MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA (Gallo et al., 2005).

El NDVI se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = (\text{IRcercano} - \text{Rojo}) / (\text{IRcercano} + \text{Rojo})$$

El NDVI tiene la ventaja sobre los índices obtenidos con observaciones de estaciones meteorológicas y/o agro-meteorológicas que al ser calculado mediante los valores digitales suministrado por sensores remotos que forman parte de las plataformas satelitales tiene una gran cobertura espacial uniforme a macro escala y obtenidos prácticamente en tiempo real. La Tabla 1 presenta la escala cromática utilizada para evaluar el NDVI en situaciones de exceso, normalidad o deficiencia hídrica.

Utilizando el mismo concepto del NDVI se han desarrollado otros índices que utilizan información satelital.

APLICACIONES DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA

Las siguientes aplicaciones son unos pocos ejemplos del uso de la información contenida en este atlas de sequías. Otras aplicaciones pueden ser desarrolladas para aquellos casos en que la variabilidad temporal y espacial de las sequías pueden asociarse con variaciones en las actividades socio-económicas (agrícolas, industriales, etc.) o con alteraciones de situaciones ambientales (deterioro temporal de la vegetación, desertificación, etc.).

a. Pérdidas en agricultura por las sequías

Las pérdidas económicas por reducción de los rendimientos en cultivos ha sido documentada por diferentes autores. Rotondo y Seiler (2002) estimaron

las reducciones en la productividad de varios cultivos en la provincia de Córdoba durante 1995/96, señalando pérdidas del orden de los dos millones de toneladas de granos de soja, maíz, maní y girasol. Ravelo et al. (2012) identificaron las pérdidas de producción por las sequías en soja, maíz y sorgo para el departamento de Marcos Juárez, Córdoba. Asimismo, Seiler et al. (2012) realiza un análisis agro-económico del efecto de las sequías sobre la empresa agrícola en Marcos Juárez y Río Cuarto.

- Análisis de las sequías extremas en 2008/09 y 2011/12

Las imágenes de las sequías presentadas en el Atlas permiten identificar donde y cuando se produjeron los eventos extremos de deficiencia hídrica y evaluar el efecto adverso mediante el correspondiente análisis económico en un sistema de información geográfica. La Figura 3 presenta el PDSI para el mes de enero en 2009 y en 2012, donde se destacan las extensas áreas con sequías severas (marrón oscuro) y extremas (en rojo), particularmente en el 2009.

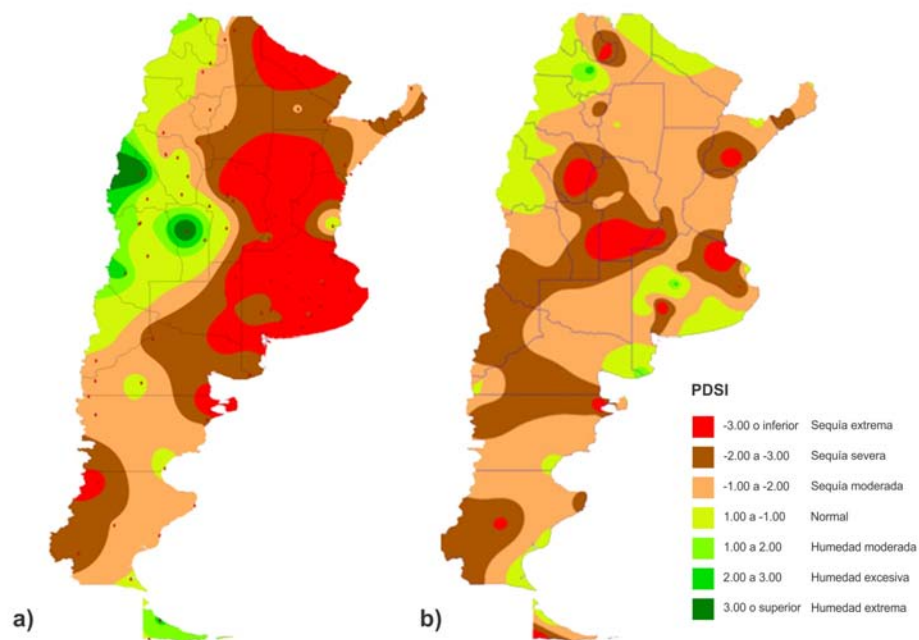


Figura 3. Índice de sequía de Palmer para el mes de enero 2009 (a) y enero 2012 (b)

Las pérdidas económicas por la sequía de 2008/09 en sólo seis departamentos de las provincias de Buenos Aires, Santa Fé y Córdoba totalizaron \$4.764 millones (595 millones de dólares estadounidenses). Las pérdidas en la sequía de 2011/12 en tres departamentos de Córdoba y Santa Fe fueron por un total de \$3.671 millones (455 millones de dólares estadounidenses). Estos montos indican la importancia de establecer

estrategias de mitigación y respuesta para reducir los impactos negativos de las sequías (Tabla 2).

Tabla 2. Pérdidas de rendimientos en soja durante los años con sequía (2008/09 y 2011/2012) y en departamentos seleccionados de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. Precio utilizado: \$2612/tn.

Depto. / Partido	Campañas Agrícolas	Sup. cosechada (ha)	Rend. (kg/ha)	Rend. medio sin Sequía (kg/ha)	Dif. en rendimiento (%)	Pérdidas (tn)	Pérdidas econón. (miles de \$)
Colón (Bs. As.)	2008/09	60.900	2.300	3.568	31,21	77.343	202.020
Pergamino (Bs. As.)	2008/09	188.050	2.122	3.435	38,25	247.040	645.268
Caseros (S. Fe)	2008/09	246.499	2.504	3.442	27,27	231.232	603.978
Gral. López(S. Fe)	2008/09	735.310	2.625	3.402	22,85	571.316	1.492.277
Marcos Juárez (Cba.)	2008/09	635.358	2.933	3.484	15,83	350.113	914.496
Unión (Cba)	2008/09	574.270	2.723	3.327	18,45	347.019	906.414
Marcos Juárez (Cba.)	2011/12	548.700	2.709	3.484	22,26	425.211	1.110.651
Unión (Cba.)	2011/12	526.400	2.312	3.327	30,50	533.526	1.393.571
Gral. López (S. Fe)	2011/12	660.000	2.725	3.402	19,91	446.820	1.167.094

La disponibilidad de series extensas de datos sobre la ocurrencia, intensidad y duración de las sequías en el territorio nacional y de series estadísticas de rendimientos de numerosos cultivos (MAGyP, 2013) permitirá la realización de análisis agro-económicos de relevancia.

b. Período de retorno de sequías

El análisis de las situaciones hídricas globales (sequías, normalidad y excesos hídricos) puede realizarse con las series históricas de un índice de sequía. Así por ejemplo, para Marcos Juárez (Córdoba) y durante el período 1973-2012, el año 2009 registró la sequía más intensa mientras que 1993 fue el año más húmedo de dicho periodo.

Para la misma localidad de Marcos Juárez, si se consideran solamente las sequías y su período de retorno, la Tabla 3 presenta los valores crecientes del PDSI para el mes de enero desde -3,6 (sequía severa) hasta 0 (normal o

ausencia de sequía) y el número de años para registrar un evento de similar magnitud o período de retorno.

Tabla 3. Ordenamiento decreciente de la deficiencia hídrica (solo valores negativos del PDSI para enero) según el año de ocurrencia y período de retorno (años). Período: 1973-2012 y localidad de Marcos Juárez (Córdoba).

Año	PDSI	Período de Retorno	Año	PDSI	Período de Retorno
2009	-3,6	20	1980	-1,4	10
1989	-3	19	2012	-1,4	9
1996	-3	18	1975	-1,3	8
1997	-2,7	17	1983	-1,2	7
2000	-2	16	1985	-0,8	6
1999	-1,9	15	2002	-0,8	5
1974	-1,7	14	2005	-0,6	4
2006	-1,6	13	2011	-0,5	3
1984	-1,5	12	1986	-0,3	2
2008	-1,5	11	1990	0	1

c. Evaluación satelital de las sequías mediante el NDVI

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y sus derivaciones pueden ser útiles en la detección de sequías y su correspondiente evaluación temporal y espacial (Tucker, 1979; Liu and Kogan, 1996; Kogan, 1997).

La detección y evaluación de las sequías puede realizarse mediante el uso de diferencias de imágenes del NDVI (anomalías). Estas imágenes de anomalías pueden ser negativas al restar una imagen de un mes determinado, en el cual los índices de sequía indicaban la ocurrencia del evento, y una imagen promedio de un período determinado. En el ejemplo que se presenta se usó el período 2000-2011. La magnitud de las diferencias negativas indica la intensidad de la sequía, mientras que diferencias positivas indican una situación de abundancia hídrica. La Figura 4 presenta las diferencias del NDVI para el mes de noviembre de 2008. Se destacan amplias áreas con ocurrencia de sequías en el NW, centro y la región cordillerana de la Patagonia en coincidencia con los índices meteorológicos de sequía. La amplia cobertura geográfica, la adecuada escala de resolución y la periodicidad de la información satelital son atributos de suma relevancia en el monitoreo y evaluación de las sequías.

Este Atlas incluye una serie (1998-2011) del NDVI calculado a partir de datos del satélite Terra con el sensor MODIS. La actualización de la serie puede efectuarse accediendo a la siguiente página web:

<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>

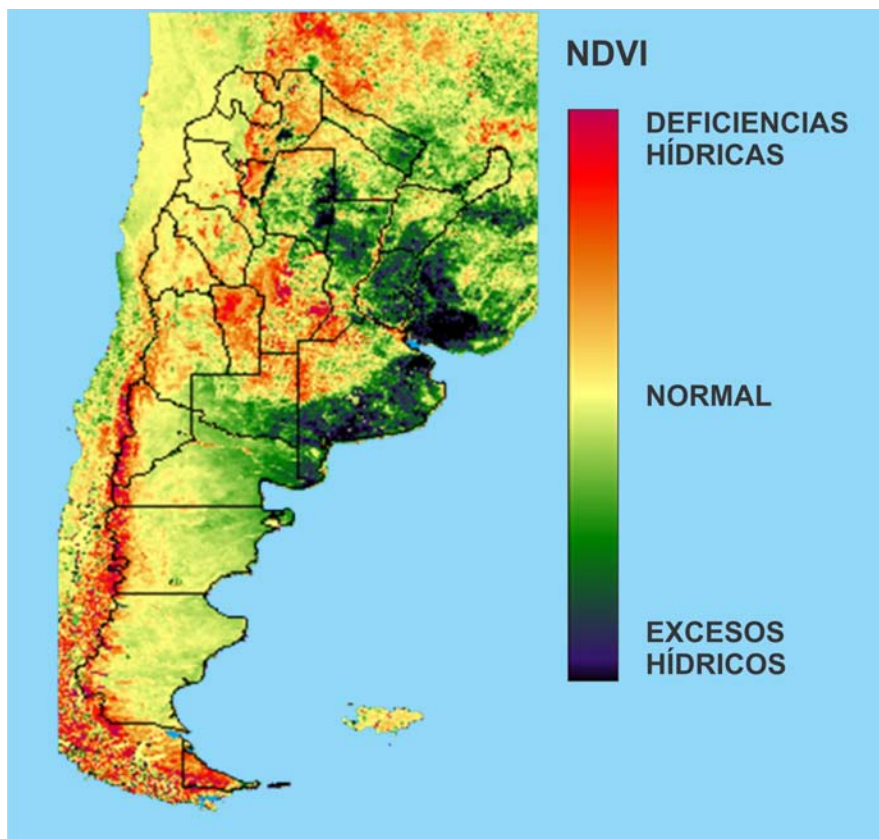


Figura 4. Diferencias del NDVI con respecto a un valor promedio (2000-2011) para el mes de noviembre de 2008.

d. Ocurrencia del ENOS y las sequías en Argentina

El Niño - Oscilación Sur (ENOS) es un patrón recurrente del clima que implica cambios en la temperatura de las aguas en el océano Pacífico tropical en las zonas oriental y central. En períodos que oscilan entre tres y siete años, las aguas superficiales de una gran franja del océano Pacífico tropical se calientan o enfrían entre 1 y 3 °C, en comparación con un valor normal. Este patrón de calentamiento y enfriamiento es conocido como el ciclo ENOS, el cual afecta directamente a la distribución de las lluvias en regiones tropicales y puede tener una fuerte influencia sobre el clima en otras partes del mundo. El Niño (evento cálido) y La Niña (evento frío) son las fases extremas del ciclo ENOS; entre estas dos fases una tercera fase se llama ENOS-neutral. El advenimiento de dichas fases está indicado por las anomalías de la temperatura del mar (SST, por sus siglas en inglés). Los índices utilizados para identificar la ocurrencia del fenómeno ENOS son el índice oceánico de El Niño (ONI por sus siglas en inglés) (NOAA, 2014) y el índice de oscilación del sur (SOI por sus siglas en inglés).

Las anomalías de la temperatura superficial del mar (Figura 5) en la región Niño 3.4 son utilizadas para determinar el ONI. El ONI se calcula estableciendo la diferencia entre promedios móviles de tres meses

determinados con el promedio móvil de esos mismos meses como promedios obtenidos de la serie 1971-2000 de la temperatura superficial del mar.

Por otro lado, el SOI representa la diferencia en la presión atmosférica promedio mensual registrada en Tahití y en Darwin, Australia.

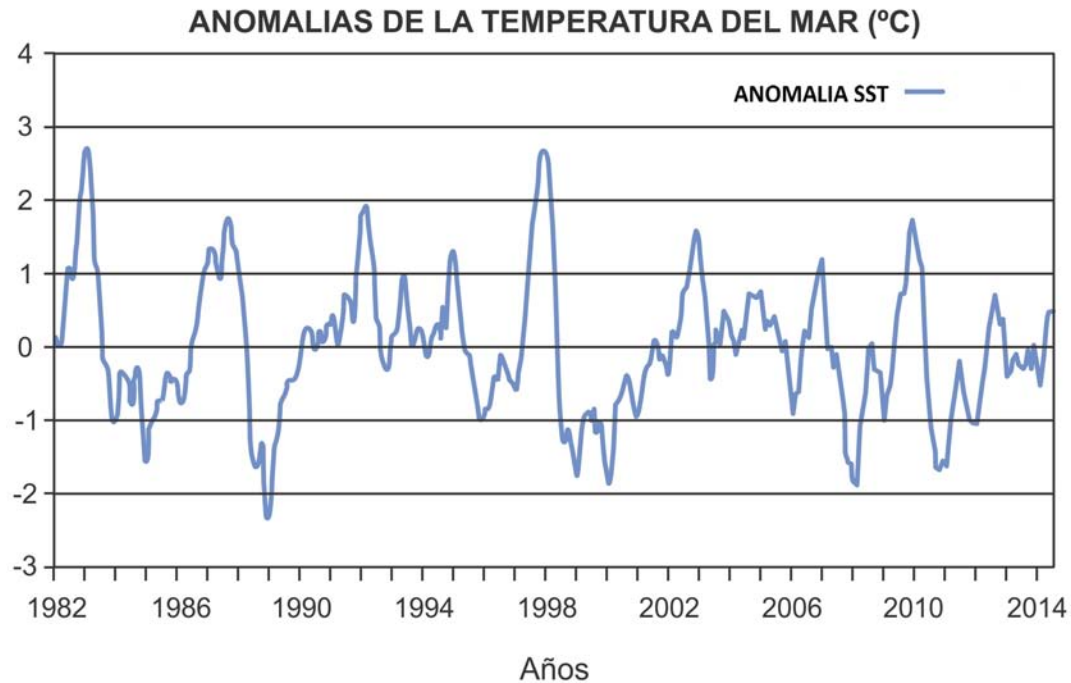


Figura 5. Variabilidad de las anomalías de la temperatura superficial del mar (SST por las siglas en inglés) en la zona Niño 3.4.

Se han identificado cierto tipo de relación entre la ocurrencia de un evento ENSO y excesos o deficiencias hídricas en algunas regiones de Sudamérica y de nuestro país y sus efectos sobre los cultivos (Ropelewski & Halpert, 1987; Barros & Silvestri, 2002; Vera *et al.* 2004; Fernández Long et al., 2011). Una forma de identificar esas relaciones puede ser utilizando los indicadores de El Niño / La Niña (ONI y SOI) y la ocurrencia de sequías o excesos hídricos en una región. A título de ejemplo se presentan en las Figuras 6 y 7 para la localidad de Marcos Juárez, Córdoba. Los valores del PDSI fueron correlacionados con el ONI y el SOI en forma directa y luego con un desfase de 1, 3, 6 y 9 meses.

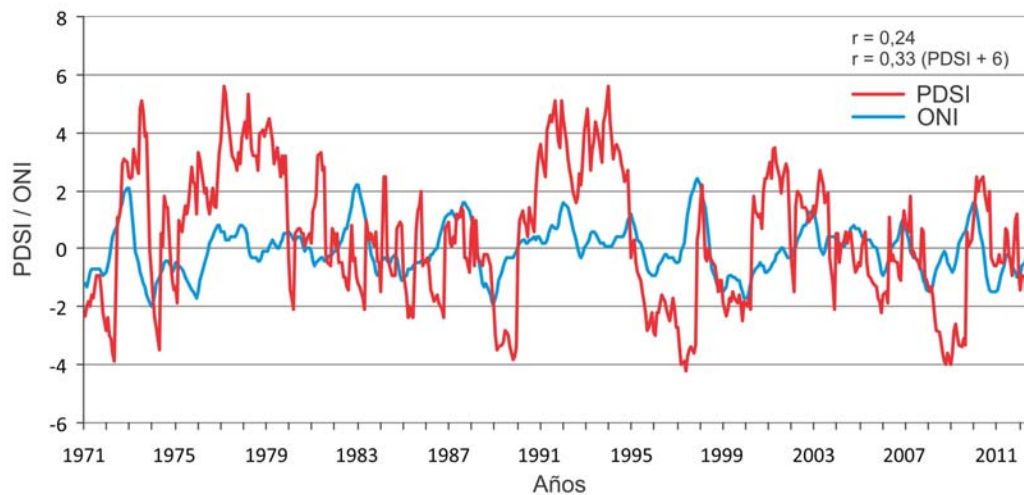


Figura 6. Variabilidad mensual de los índices de sequía (PDSI) para Marcos Juárez, Córdoba y El Niño Oceánico (ONI). Coeficientes de correlación entre ambos índices y con un desfase de 6 meses para el PDSI.

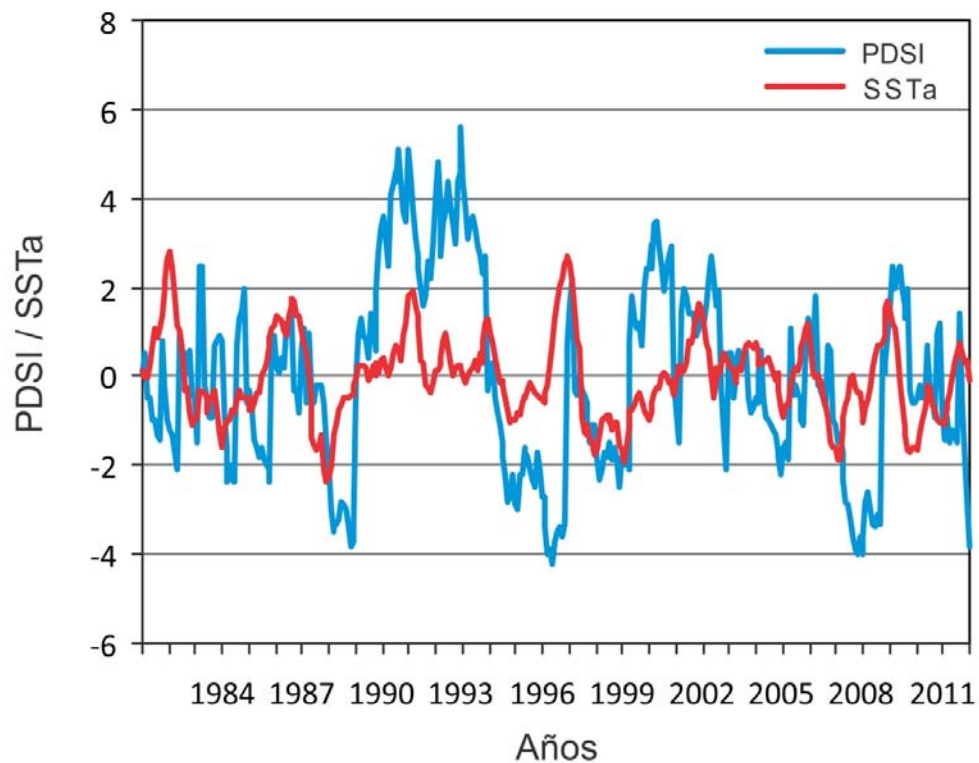


Figura 7. Variabilidad mensual de los índices de sequía (PDSI) para Marcos Juárez, Córdoba y la anomalía de la temperatura superficial del mar (SSTa) en el océano Pacífico tropical (El Niño 3.4).

La correlación entre PDSI y SST es de 0,27. Sin embargo, si el PDSI se desplaza 1, 3, 6 y 9 meses, el coeficiente de correlación aumenta y luego

disminuye. Dichos coeficientes son: 0,30; 0,33; 0,35 y 0,27 para los períodos de desplazamiento indicados, respectivamente.

e. Pronósticos / alerta temprana de las sequías

El pronóstico de las sequías puede ser realizado mediante el uso de redes neuronales (Mishra & Desai, 2006; Shin and Salas, 2000; Ravelo et al, 2014) y los índices PDSI y SPI mensuales. Las condiciones futuras de sequías para los próximos 1, 2 o 3 meses puede ser realizado para estaciones seleccionadas y se grafican los resultados. La precisión de los pronósticos del PDSI para 3 meses fue determinada mediante el uso del coeficiente de Pearson y el error cuadrático medio.

La Figura 8 presenta el PDSI calculado para cada mes de la serie 1992-2012 y el PDSI pronosticado mediante redes neuronales para Marcos Juárez, Córdoba. Puede apreciarse una relación estrecha entre ambos índices con un coeficiente de correlación de 0,89 y un error cuadrático medio de 0,75.

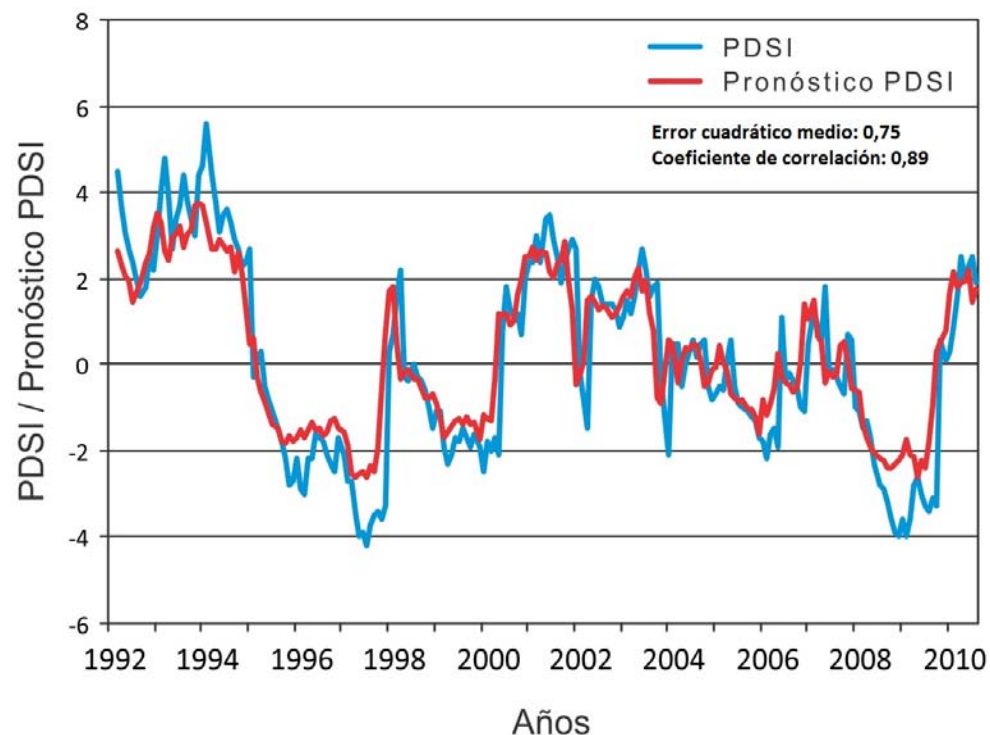
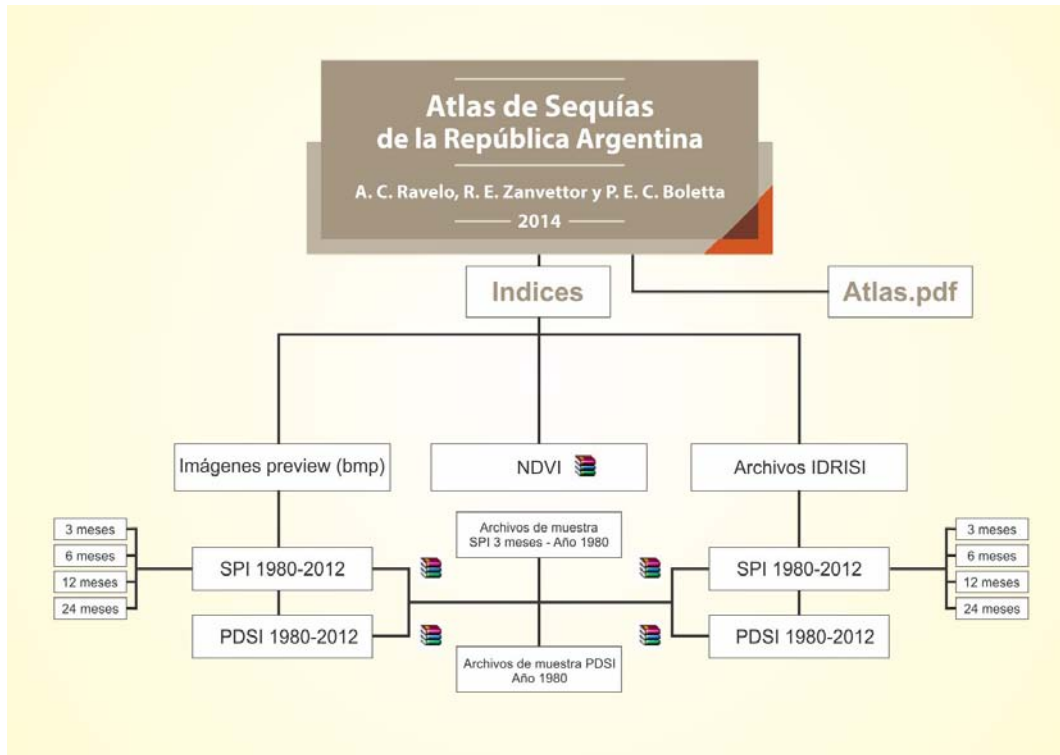


Figura 8. Comparación entre PDSI calculado para cada mes de la serie (azul) y el PDSI pronosticado (rojo) a tres meses mediante redes neuronales para Marcos Juárez, Córdoba.

ANEXOS (En sitio de internet):

http://www.crean.unc.edu.ar/atlas/atlas_sequia.html

- Series de mapas del PDI y SPI (1980-2012)
- Series de imágenes decádicas del NDVI MODIS Argentina en formato IDRISI (Abril 1998 a Octubre 2011)



AGRADECIMIENTOS

A Alejandro Barbeito por las ilustraciones y organización informática de los archivos de mapas e imágenes; a Tomas Forte y Franco Biolatto por el procesamiento de los mapas de índices de sequía.

BIBLIOGRAFIA

- Barros, V.R. and G.E. Silvestri, 2002. The relation between sea surface temperature at the subtropical South–Central Pacific and precipitation in Southeastern South America. *Journal of climate* 15:251-267.
- Bates, B., Z. Kundzewicz, S. Wu, y J. Palutikoe, 2008. *Climate Change and Water*. IPCC Technical Report, June 2008, Geneva, Switzerland.
- Boletta, P. E.; Vides, R.; Salas, H.; Figueroa, E.R.; Wurschmidt, A. y Fernandez, M. T. 1989. Efectos de la Sequía en la Selva Montana de la Sierra de San Javier-Tucumán. En: *Boletín de la Asoc. Arg. de Agrometeorología (AADA)* Año III N° 3, pág. 11-12. Córdoba, Argentina.
- Boletta, P. E.; Acuña, L. R. y Juárez de Moya, M. L. 1989. Análisis de las características climáticas de la Provincia de Santiago del Estero y Comportamiento del tiempo durante la Sequía de la Campaña Agrícola 1988/89. Conv. INTA-UNSE, 23 pág.+ Anexo. Santiago del Estero, Argentina.
- CONAGUA, 2014. Comisión Nacional del Agua/ Secretaria 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, 2014. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, CONICET/UNC. Monitoreo de Sequías. <<http://crean.org.ar/monitoreo>> Consultada el 15/03/2014.
- 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.
- Fernández Long, M. E.; L. Spescha, R. Hurtado and G. M. Murphy, 2011. Impact of the ENSO on corn yields in the Argentinean pampas region. *Agriscientia XXVIII*: 31-38.
- Gallo, K., L. Ji, B. Reed, J. Eidenshink and J. Dwyer, 2005. Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 99, Issue 3: 221-231.
- Justice, C.O. and 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.

- Liu, W.T. and 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. Ministerio de Agricultura, Ganadería 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.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas, B. Vega y M.C. Costa, 2007. Las sequías en la Pampa húmeda: Impacto en la productividad de maíz. *Rev. Bras. de Meteor.* 22(2):218-232.
- Mishra, A.K. and V.P. Singh, 2011. "Drought modelling –A review", *Journal of Hydrology*. No. ,(1-2): 157-175. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002393>
- Mishra, A.K. and Desai V.R., 2006. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network. *Ecol. Modelling* 198:127-138
- NOAA, 2014. Datos del índice oceánico de El Niño. En: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Consultada el 12/02(2014).
- 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. and 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., R. Sanz Ramos y C. Douriet Cárdenas, 2014. 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., A.M. Planchuelo, R.E. Zanvettor y P.E.C. Boletta 2012. Atlas de las Sequías en Argentina. Actas de la XIV Reunión Argentina de Agrometeorología, Malargue, Mendoza. RADA: 225-226.
- 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. y Rotondo, V.H. 1987. Caracterización climática de las sequías en Río Cuarto. Actas de la III Reunión Argentina de Agrometeorología, Vaquerías (Cba.), pp. 165-166.
- Ropelewski, C. and M.S. Halpert, 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev. 115:1606-1626.
- Rotondo, V.H. y Seiler, R.A. 2002. Una estimación del efecto de las sequías en la producción agrícola en la Provincia de Córdoba. Actas de la IX Reunión Argentina de Agrometeorología, Vaquerías (Cba.), pp. 69-70
- Seiler, R.A., M.B. Wehbe, I.E. Tarasconi y J.A. Granda, 2012. Sequía en el Sur de Córdoba: Riesgo y Condicionantes para la Adaptación. Actas de la XIV Reunión Argentina de Agrometeorología, Malargüe, Mendoza. RADA:231-232.
- Shin H-S and J.D. Salas, 2000. Regional Drought Analysis Based on Neural Networks. J. Hydrologic Eng. 5(2):145-155.
- Tucker, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, Remote Sensing of Environment, 8(2),127-150.
- USNDPC, 2000. Preparing for drought in the 21st century : United States National Drought Policy Commission Report, Dept. of Agriculture. Office of Communications. 60 pp. <<http://govinfo.library.unt.edu/drought/finalreport/fullreport/pdf/reportfull.pdf>> Consultada el 12/11/2012.
- Vera, C.,G. Silvestri, V. Barros and A. Carril, 2004. Differences in El Niño response over the Southern Hemisphere. Journal of Climate 17(9):1741-1752.
- White, D.H. and 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.
- Wilhite, D.A., M.D. Svoboda and M.J. Hayes, 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. Water Res. Man. 21:763-774.
- Wilhite, D. and M. Buchanan-Smith, 2005. Drought as Hazard: Understanding the Natural and Social Context. In: Wilhite, D. editor: Drought and Water Crises Science, Technology, and Management Issues.