

TENDENCIAS EN LOS INDICES DE SEQUIA PARA LA REGION SUBTROPICAL DE LA TIERRA

OVEJERO, Darío Pedro, MINETTI Juan Leónidas

Departamento de Geografía Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Laboratorio
Climatológico Sudamericano-LCS.

dariovejero@gmail.com

RESUMEN

La región subtropical del planeta Tierra posee una importancia relevante en la seguridad alimentaria. Investigaciones mostraron secado en esta región producto de la intensificación de la circulación de Hadley generando un aumento de las sequías. Diferentes autores mostraron anteriormente el crecimiento en los índices de sequías sólo para el subtropico del hemisferio sur como producto probable del calentamiento global principalmente a partir de 1980. El objetivo general de este trabajo es presentar las tendencias de los índices hídricos en la región subtropical del mundo. Para ello se aplicó un Índice de Sequía Mensual y Anual en subregiones seleccionadas de la Tierra. Se concluye que existe un aumento en los índices a escala global desde 1980 verificado claramente en el HS pero con dificultad en el HN por las perturbaciones del régimen monzónico en Asia. Además, la mayor correlación significativa entre los índices de sequías anuales y la temperatura global se registran en la zona central de Chile.

Palabras clave: subtropico - hemisferio norte y sur - calentamiento global .

DROUGHT TRENDS IN EARTH SUBTROPICAL REGION

ABSTRACT

The subtropical region of the Earth has a significant importance in agriculture and food security. Investigations showed dried product in this region by intensified Hadley Circulation. This work shows that drought indices grow mainly in the subtropical band from 1980. The objective of this paper is to present trends in the annual drought indices for the world subtropical region. This analysis concludes that an increase in rates globally since 1980 clearly verified in the HS, and with difficulty in the HN by the Asian monsoonal regime. In addition, most significant correlation between rates of annual droughts and global temperature are recorded in the central area of Chile.

Key words: subtropics - Northern Hemisphere and South - global warming.

Introducción

Derivado de las investigaciones sobre el Calentamiento Global (CG) asociado a una intensificación de la Circulación de Hadley (CH), Minetti et al, (2014 a) han citado una gran cantidad de artículos, como los de Chen et al (2002) que justifican la posibilidad de un secado sobre la banda subtropical y crecimiento de las precipitaciones sobre la Convergencia Intertropical (CIT). Haciendo uso de modelos climáticos A. Dai (2013) muestra que el CG generaría en un futuro cercano, un incremento de las sequías potenciadas por un aumento en la tasa de evapotranspiración, aumentando el déficit hídrico. Otros autores han trabajado con la hipótesis de un reforzamiento de la CH, con expansión de la zona anticiclónica subtropical y un corrimiento hacia latitudes más altas de la misma con los años (Xiao-Wei Quan et al, 2004; Hu y Fu, 2007; Quan et al, 2002; Mitas y Clement, 2005; y Minetti et al, 2009). Esta hipótesis colisionaría con la posición de los tecnólogos agrícolas que se encuentran incrementando las áreas de producción en las regiones semiáridas marginales de las principales aéreas productoras de granos como, por ejemplo: Pampa Húmeda Argentina, NE de Estados Unidos, Europa, Australia y Sudáfrica entre otras (Minetti y Sierra, 1984; Minetti et al, 2007). Estos graneros húmedos del mundo poseen vastas zonas áridas y semiáridas lindantes que ejercen una presión natural sobre ellas y, en consecuencia, sobre los rindes agrícolas. Esta presión se incrementa por acción antrópica que hace uso de modernos recursos tecnológicos para sus fines (Reboratti, 2010).

Gran parte de la producción agrícola mundial se genera en regiones subtropicales, donde, en las últimas décadas, se han observado intensas sequías en el espacio-tiempo generando un impacto severo transitorio en los precios internacionales de granos (Ferrelli, 2012; Ortega Gaucin, 2014 y Moreno Muñoz, 2010), poniendo a la sociedad bajo un riesgo de seguridad alimentaria (Viñas, 2011). Por ahora esto parece ser un juego de intereses a escala global, regional o local donde la expansión demográfica en crecimiento (Dovers et al, 1988; Flores de la Peña, 1954), condiciones ambientales adversas (Minetti et al, 2007; Viñas, 2011), oferta/demanda energía (Munier, 2012) y negocios financieros (Dabat, 2009) convergen hacia escenarios más complicados que los actuales.

Gran parte de la actual investigación climatológica empírica se ha desarrollado a partir de 1948 cuando la comunidad científica generó una nueva base de datos globales en un grillado de latitud y longitud (Kalnay, et al, 1996), que sirvió para obtener información regular en el tiempo y el espacio y así poder hacer interactuar los modelos con esta nueva información, tratando de explicar las respuestas de éstos al fenómeno del Cambio Climático (CC). En este caso Dai (2013) utilizando modelos (CMIP3, A1B, CMIP5, RCP4.5), presenta áreas bajo aridez en la Tierra incrementándose por efecto del CC en un +20% entre la actualidad y el año 2100, con el impacto que esto generaría. Pero esta información reciente, a partir de 1948, es insuficiente para abordar el estudio del CC y su impacto en el espacio geográfico. Para ello se ha necesitado construir una base de datos ad-hoc integrada por las series de precipitaciones más longevas y



controladas observado sobre la banda subtropical del planeta que se encuentren preferentemente ubicadas en la región de la CH. Los primeros resultados obtenidos por este grupo muestran tendencias de las precipitaciones anuales casi estacionarias en Chile desde fines del siglo XIX hasta 1950-80 y un crecimiento de las condiciones secas a partir de esa fecha coincidente con la intensificación del calentamiento global a partir de 1980 (Minetti et al 2014 a).

Es objetivo de este trabajo verificar el impacto del CG en las condiciones hídricas de la región subtropical de la Tierra. Para ello es necesario: a) Presentar las tendencias regionales de las precipitaciones en el subtrópico del hemisferio norte, sur y en su conjunto, b) Analizar regionalmente el comportamiento de las sequías y c) Relacionar el CG con las condiciones hídricas del área de estudio.

La hipótesis de esta investigación es que el CG impactaría negativamente en las condiciones hídricas de la región subtropical y, de manera menos homogénea, en el hemisferio norte.

Área de estudio

La región subtropical es el área comprendida en torno a los 10°-30° de latitud N y S afectada por la circulación termodinámica descendente de Hadley que impacta a un 50% de la superficie del planeta. En la Fig. 1 se muestra el área de estudio resumida con una red subtropical mundial sectorizada: A, B y C en el HS y D, E y F en el HN. Gran parte de estas áreas se encuentran en regiones anticiclónicas críticas (oeste de los continentes), en la mayoría de las cuales ya se han observado tendencias importantes al decrecimiento de las precipitaciones en forma individual.

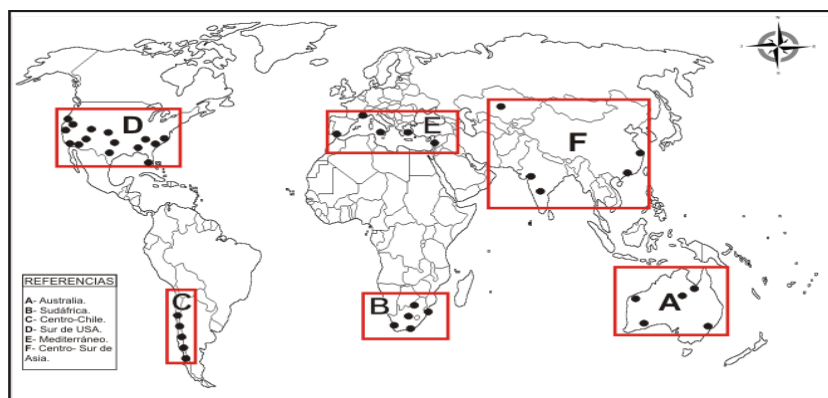


Figura 1: Red de medición en la región subtropical del planeta.



Materiales y métodos

Para presentar las tendencias regionales de las precipitaciones en el subtropical del hemisferio norte, sur y en su conjunto se aplicará el índice de sequía mensual-anual ya descrito por Minetti et al (2010) quienes estiman a la cantidad de localidades secas por regiones divididas en la cantidad total de localidades monitoreadas aplicadas a series pluviométricas del período 1880-2015. Para ello, se ha construido una base de datos pluviométricos mensuales de 40 estaciones meteorológicas longevas de más de 100 años de datos, ubicados en la banda subtropical del HN y HS. El método agrupa cinco estaciones meteorológicas por regiones mientras que en el sur de EEUU se incluyen a 15 de localidades, cinco por cada una de las subregiones (SW, Centro y SE de USA). En el HN se incluyen la banda subtropical de América del Norte (USA), zona litoral mediterránea y zona monzonal de Asia. En el caso del HS, ya calculadas por Minetti et al (2014-a) se incluyen localidades de Australia, sur de África y centro de Chile. Los datos pluviométricos fueron obtenidos por los Servicios Meteorológicos Nacionales y publicados por el Instituto Smithsonian para el período de fin del siglo XIX hasta 1930 (<http://www.ncdc.noaa.gov/>) y de los World Weather Records de la NOAA-USA (1931-2000) más los recientes obtenidos por otras fuentes e Internet. En algunos casos particulares se utilizaron extensas series de datos como las del Instituto Geofísico de Hong Kong (<http://www.hko.gov.hk>).

Los análisis de las tendencias son obtenidos por el método de mínimo cuadrado como polinomio de primero a séptimo grado con su respectiva significación estadística Prueba “t” Student (WMO, 1966).

Para la asociación entre el CG y los índices de sequías en los diferentes sectores del área de estudio se utilizó al coeficiente de correlación de Pearson (Spiegel, 1969).

Resultados

a) Índices de sequía: La Fig. 2 presenta las tendencias de los índices de sequías anuales en el período 1880-2015 para el subtropical del hemisferio norte, sur y total, además se presentan los valores de los índices globales y tendencias. Esta última puede ser lineal o de grado 5 (polinomio) en el caso del subtropical total. En la Fig. 2a se observa en el subtropical total una tendencia lineal creciente en el periodo de tiempo analizado. En el caso del HN, el índice de sequía presenta un comportamiento ondoso con una longitud mayor a 50 años. Este tiene un máximo de sequía en 1930 y un mínimo en 1985 con posterior ascenso marcado hasta la actualidad. El índice de sequía del HS tiene un comportamiento estacionario hasta la década de 1950 cuando se observa un marcado incremento llegando a los máximos valores en los últimos años. Información previa sobre el subtropical del HS ha sido mostrada por Minetti et al (2014), mientras que en esta oportunidad se realiza una presentación completa de ambos hemisferios. En la Fig. 2b se ha graficado únicamente el subtropical total con una tendencia de grado superior (5to.). En ella se pueden ver a las variaciones rápidas del índice propuesto mostrando

sus mayores registros en la década de 1910-20 y menores entre 1980-1995. Posteriormente se observa un nuevo aumento de las sequías.

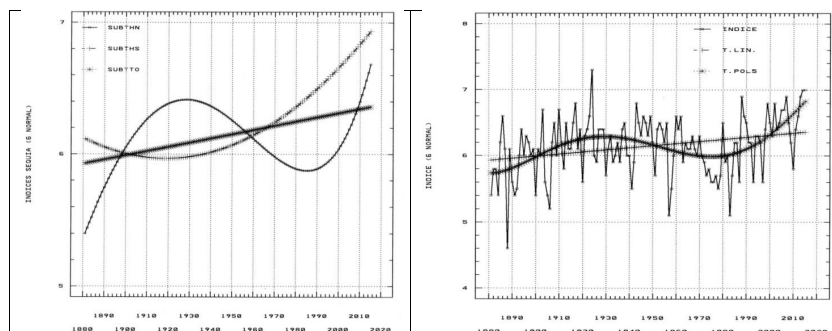


Fig. 2: 2a (izquierda) Índices de sequía anuales (1880-2015) para el subtropico del hemisferio norte- sur y total. 2b (derecha) IAS, tendencia lineal y polinómica de grado 5 para el subtropico total.

Tabla 1: Información sobre las tendencias en los índices de sequía

VAR REG	1	2	3	4	5	6	7	8	1+2+3	4+5+6	4+5+6+7	TOT
VAR TOT	1.28	0.99	2.09	1.55	1.02	1.32	1.10	0.71	0.43	0.55	0.37	0.19
T. "t" LIN.	-2.4	3.17	6.04	0.12	-0.15	2.47	3.71	-2.34	4.48	-0.94	0.80	3.37
V.L./V.T.	4.4	7.0	21.6	0	0	1.2	9.4	4.0	13.2	0.67	13.2	7.9
VAR.EXP.	28	41	38	25	22	38	39	26	39	26	26	40

AU Australia, AF África, CHI Chile, WEUS oeste de EEUU, COUS centro de EEUU, SEUS sudeste de EEUU, ME zona mediterránea de Europa, MO zona monzónica del sur de Asia, SHS subtropico del hemisferio sur, SHN subtropico del hemisferio norte, total subtropico de los hemisferio norte y sur.

VARIANZA TOT.: (S^2) las dos más importantes en negrita

TEST "t" LIN: prueba del "t" Student de la tendencia lineal superiores a 1.65 significativas.

V.L./V.T.: Porcentaje de la varianza debido a la tendencia lineal arriba del 7% en negrita,

VAR.EXP.: Porcentaje de la varianza debida a fluctuaciones de más de 10 años (decadal), con negrita superiores al 30%.

b) *Análisis de la zona subtropical del HN (SHN)*: Esta región integra el S de EEUU (WEUS, COUS, SEUS) y S de Europa (ME) con 20 localidades en el estudio muestra solo un parámetro significativo, que es la proporción de una tendencia lineal frente a la varianza total (13.2%). Su tendencia es oncosa y hay una buena distribución de varianzas explicadas en todo el tiempo espectral (espectro equilibrado). La Fig. 3 presenta

un aumento de las condiciones secas en los últimos 40 años y una tendencia decreciente entre la primera mitad y segunda del siglo pasado. Esta tendencia se parece a la observada por Minetti et al (2014) en las precipitaciones de la región continental de Sudamérica, atribuida al comportamiento monzonal del transporte de vapor de agua del océano al continente.

c) Análisis de la zona subtropical del HS (SHS): Tres parámetros significantes se observan en esta serie. Prueba “t” (4.48), porcentaje de varianza del total (13.2%) y varianza explicada en longitudes de onda superiores al 10% (39%). Esta última supera a la del HN (26%) y está por debajo de la individual del centro de Chile (38%). Es la tendencia más importante entre ambos hemisferios, debido a los pesos que tienen Chile central y África. La tendencia es sostenida en todo el tiempo y más creciente desde 1980 a la fecha coincidente con el mayor CG.

d) Análisis de la zona subtropical de la Tierra (TOTAL): Esta región total identifica al 40% de la varianza total explicada por varianzas de más 10 años y el cambio lineal acumula a casi el 8% de la varianza. La tendencia lineal es también significativa (3.37) y el comportamiento ondoso se destaca con un peso significativo desde 1980 a la fecha consistente con el actual proceso de CG donde el peso del HS es destacable (Fig. 3).

e) Análisis de Australia (AU): Ocupa un cuarto lugar en la cantidad de varianza generada (1.28). Está entre las cinco regiones con tendencias negativas y con significación estadística (-2.4). El porcentaje de varianza decadal explicada en el espectro alcanza al 28%. Si bien es cierto que la tendencia actual es al crecimiento del índice de sequía (figura 4a), ha pasado de un período seco en la primera mitad del siglo pasado a un período lluvioso en la segunda mitad. Esto no ha sido suficiente para mostrar un cambio significativo. Una sequía individual (2001) ha superado a todos los valores históricos. Makuei et al (2013) informan que los patrones de lluvias han cambiado en el subcontinente con persistencia de días secos y lluviosos más largos y cambios en la segunda mitad del siglo pasado, también relatados por Climate Change (2007).

f) Análisis del sur de África (AF): Esta región es una de las más afectadas recientemente por sequías crecientes igual que Chile central. Con menor varianza total (0.99) su tendencia lineal es significativamente creciente (3.17) y está quinta en orden de importancia. La figura 4a indica algunas sequías de los últimos años han superado a los históricos observados. Posee el 41% de la varianza explicada en cambios superiores a los decadales y su tendencia curvilínea es más importante que la lineal. Nicholson y Entekhabi (1986, 1987) y Ropelewski y Halper (1987) atribuyen esta variabilidad a la temperatura superficial del mar en el O. Atlántico sur y a El Niño-Southern Oscillation (ENSO).

g) Análisis centro de Chile (CHI): Es la mayor tendencia lineal observada en todo el grupo (6.04), y también la mayor varianza generada (2.09). También se estimó un

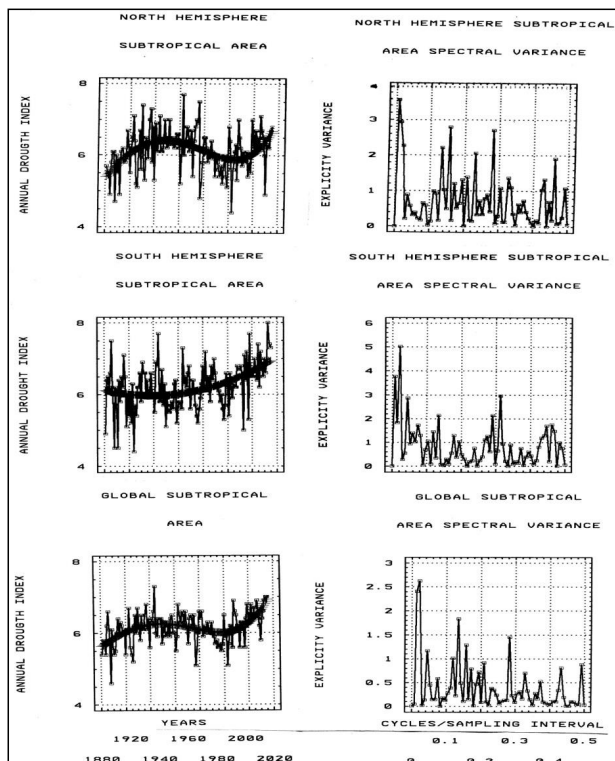


Fig. 3: Índice anual de sequía y varianza explicada para el subtropico del hemisferio norte, sur y total.

21.6% de varianza lineal generada del total de varianza (2.09). Australia registró una sola oportunidad con índice de sequía superior a 9 (Fig. 4a), mientras que el sur de África ninguno y Chile central 8 eventos. Esta información destaca la importancia de Chile en la generación de sequía y la actividad anticiclónica respectiva con cuatro de los parámetros estadísticos significantes. Motivos causales de las extensas sequías registradas en esta región fueron sintetizadas por Quintana y Aceituno (2012), responsabilizando a las variabilidades del ENSO, la Pacific Decadal Oscillation (PDO), la posición latitudinal del anticiclón del Pacifico sur (LSAP) Minetti et al (2009) e intensidad del anticiclón del Pacifico sur-oriental (SEP-High) entre otros.

h) Análisis del centro de EEUU (COUS): Tiene la mitad de la varianza generada que la que tiene Chile central (1.02) y con una débil y no significativa tendencia lineal (-0.15). La varianza obtenida por la tendencia frente al total es de cero. A su vez la varianza total

generada por encima de cambios de 10 años es la más baja del conjunto analizado. En su espectro se ve que los cambios de alta y media frecuencia son dominantes, particularmente aquellas generadas en la frecuencia del ENSO (Fig. 4b).

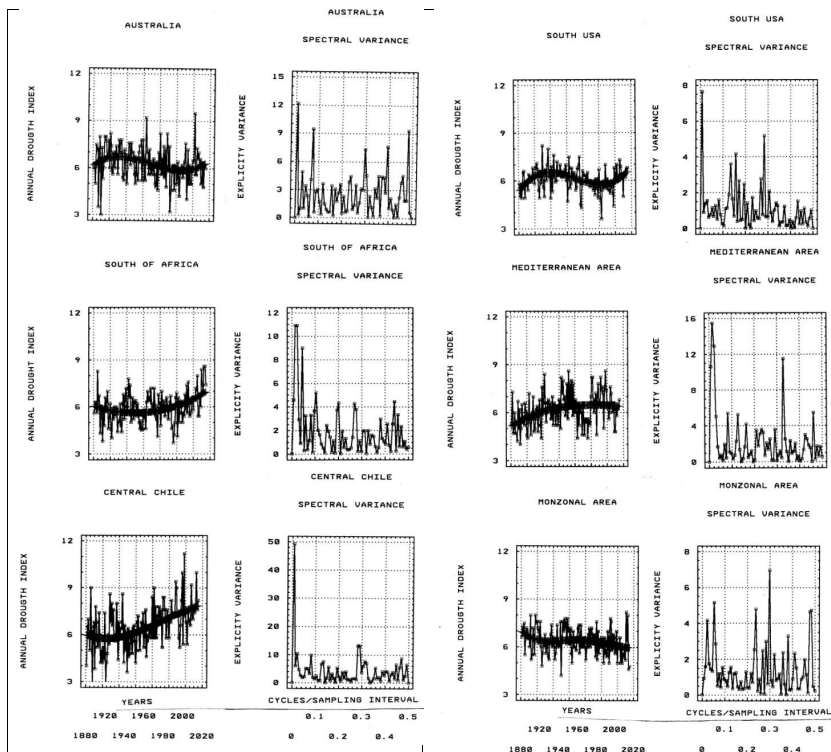


Figura 4: Índice anual de sequía y varianza explicada por regiones. (a) HS: Australia, sur de África y centro de Chile; (b) HN: sur de EEUU, Mediterráneo y área monzonal

i) *Análisis del sudoeste de EEUU (WEUS)*: Es la segunda región con varianza generada en el índice de sequía anual (1.55). Tiene una tendencia lineal no significativa igual que el centro de USA pero de igual característica ondosa que la región central. Ambas regiones tienen una tendencia actual creciente y han ocurrido sequías anuales que igualan o superan a 8. Sin embargo estas sequías no han superado a las registradas durante la Segunda Guerra Mundial y las altas frecuencias dominan en el espectro de la varianza.

j) *Análisis del sudeste de EEUU (SEUS)*: Esta serie es la segunda ondulada con tendencia lineal significativa (2.47) y alto valores de varianza explicada para fluctuaciones

superiores a 10 años (38%). Este comportamiento impacta a la serie total del sur de EEUU (SUS) ubicándola en segundo término luego de Chile en la prueba “t” (2.48).

k) Análisis del sur de EEUU (SUS): La región no posee ninguno de los parámetros significativos de la Tabla 1, y parece ser la más aleatoria con variaciones de media y alta frecuencia todas ellas inferiores a 10 años dentro del rango del ENSO. Del monitoreo realizado por Peterson et al (2013) se desprende que las principales áreas bajo sequía de EEUU se encuentran, con los años, sobre el SW del país y, en segundo orden, sobre el SE del mismo. También se destaca en este trabajo que hubo un cambio de tendencia en la extensión de área seca del país ya que las mismas aumentaron desde 1970 al presente. Se destaca que las principales sequías de la centuria pasada se ubican en el período de la Segunda Guerra Mundial y alrededor de 1950. También se observan las menores tendencias climáticas en el eje NW-SE del país.

l) Análisis de la zona mediterránea (ME): Es la segunda región con cambios de largo plazo con significación estadística (tres en el Cuadro 1). Su prueba “t” de tendencia lineal es significativa (3.71) mientras que su tendencia se ajusta mejor a una función cuadrática de mayor pendiente en la primera mitad del siglo pasado y más estacionaria en la segunda mitad de ese siglo. Su varianza total (1.10) y su proporción respecto a la varianza total es casi la mitad de la de Chile (9.40). Este caso muestra una varianza explicada arriba de 10 años acumulada de significación algo mayor que la de Chile. La figura 4b evidencia que esta región ha soportado en el pasado un sostenido decrecimiento de las precipitaciones en el Sahel y lagos africanos en el período 1875-1920 y, tras una pausa hasta 1960 donde aumentaron las precipitaciones, retornó a las extendidas sequías hasta el presente (Nicholson, 1989). Las sequías de esta región al N del Sahara, ejercen una importante presión sobre los climas húmedos del N de Europa productores de granos y muestran, en casi todo el Mediterráneo tendencias negativas en las precipitaciones (Philandras C.M. et al 2011). Otras variabilidades de la región son debidas a la Oscilación Norte Atlántica (NAO) (Philandras et al, 2011).

m) Análisis de la zona monzonal de ASIA (MO): Lo único que se destaca como significativo es la prueba “t” negativa (-2.34). Está en esta situación junto a otras cuatro regiones (MO, SUS, COUS, y AU). Aquí la tendencia es sostenidamente decreciente en el inicio y final de la serie. Esta forma funcional se justifica por el hecho de que en el sur de Asia se posiciona la Convergencia Intertropical (CIT) durante el verano del HN. Esto permite observar un funcionamiento opuesto de la tendencia de las precipitaciones comparadas con la zona subtropical, donde la hipótesis es de un secado frente a un fenómeno de CG. En el caso de AU, SUS y COUS la tendencia negativa generada entre la sequía de la Segunda Guerra Mundial con el período lluvioso de la segunda mitad del siglo pasado ha comenzado a extinguirse en las dos últimas décadas con intensos procesos de secado. En la Fig. 4b se ve una clara tendencia oncosa más que una forma de tendencia lineal. Loo et al (2015) han destacado que el aumento en las precipitaciones o tendencia negativa a las sequías en esta región es un resultado del CG responsables

de la variabilidad expresadas por la Oscilación Ártica (OA) Alta Siberiana (AS), Alta Subtropical del O. Pacífico oeste (HSPO) y la compleja topografía y meseta tibetana. Estas fluctuaciones con excesos y déficits extremos de precipitación están impactando severamente en las riadas que afectan a millones de personas, producen pérdidas de vidas, destrucción ecológica, pérdidas de cosechas y generan inseguridad alimentaria.

Tabla 2: Correlaciones significativas y no significativas entre los índices de sequías anuales y las anomalías de las temperaturas globales (NASA).($R_c = 0.19$)

REGIONES	AF	CHI	ME	MO	SHS	TOTAL
CORR.SIG.	0.33	0.42	0.30	-0.25	0.42	0.31
REGIONES	AU	WEUS	COUS	SEEU	SEU	SHN
CORR.NO SIG.	-0.11	-0.05	0.02	-0.09	-0.09	0.06

La Tabla 2 muestra que solo el S. de África, Chile central, zona mediterránea, centro y S. de Asia, zona subtropical del HS y el subtrópico total tienen correlaciones significativas con las anomalías de temperatura global proporcionada por la NASA. En la región monzonal de Asia la correlación es negativa tal como sostiene la hipótesis del CG, con un crecimiento de las sequías sobre los anticiclones subtropicales y los excesos de precipitación sobre la CIT. El resto de las regiones no poseen correlaciones significativas. En el caso de Australia, los procesos ENSO de la circulación de Walker (Ropelewsky y Halper, 1987) explicarían la inversión con el centro de Chile. La tendencia ondulosa de EEUU es semejante a la observada en la zona continental de Sudamérica según lo muestran Minetti et al (2014 b).

Conclusiones

La región subtropical del planeta Tierra presenta un claro incremento en los índices de sequía pero diferenciados según los hemisferios, en el HN con un comportamiento más onduloso y con una longitud mayor a 50 años y en el HS un persistente aumento del índice de sequía desde 1950.

Las dos tendencias más destacadas de los índices de sequías anuales en el HS se presentan en el sur de África y centro de Chile. Estas tendencias positivas se destacan en la segunda mitad de la centuria principalmente en Chile.

En el HN se destaca la región mediterránea pero con menor crecimiento que Chile. Por esta razón las tendencias del HS superan a las del HN, infiriendo que la circulación de Hadley (CH) es más homogénea en un hemisferio que en otro.

La circulación monzonal asiática tiene una tendencia negativa en los índices de sequías anuales debido a que la CIT interrumpe a la CH en el S de Asia. Aquí se destacan no solo una tendencia negativa (más lluvioso) con las décadas, sino que además crecen la inestabilidad interanual con episodios importantes de sequías y lluvias.

En el S de EEUU se destaca un cambio ondoso de la tendencia (polinomio de grado superior) con tendencia lineal negativa, principalmente entre el período de la Segunda Guerra Mundial a las décadas de 1960-1980 (más lluvioso) después, las tendencias hacia la sequía están retornando en las últimas décadas incluyendo a la ocurrencia de severas sequías principalmente en el año 2012. Este comportamiento también fue observado en la zona continental de Sudamérica con el período más seco entre los años 2008-2013.

Los índices de sequía anuales están correlacionados en forma significativa con los cambios interanuales de temperatura global en las zonas de Chile central, sur de África, zona mediterránea, y zona monzonal del sur de Asia, destacándose la primera de todas éstas en su asociación.

Referencias

- Chen J. Y., Clarson B. E. y Genio A. D. (2002). Evidence for strengthening for the tropical general circulation in the 1990s, *Science*, vol.295, 838-841.
- Climate Change. (2007). National Climate Change Adaptation Framework Australian Government.
- Dabat, A. (2009). La crisis financiera en Estados Unidos y sus consecuencias internacionales. *Problemas del desarrollo*, 40(157), 39-74.
- Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3(1), 52-58.
- Dovers, S., Hutchinson, F., & Buzzard, S. (1988). Sustainability: definitions, clarifications and contexts (No. E10 B662d). *BIFAD*, Washington, DC (EUA).
- Ferrelli, F. (2012). La sequía 2008-2009 en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ecosistemas* 21(1-2):235-238
- Flores de la Peña, H. (1954). Crecimiento demográfico, desarrollo agrícola y desarrollo económico. *Investigación Económica*, 14(4), 519-536.
- Houghton, R. A. (1994). The world wide extent of land-use change. *BioScience*, 44(5), 305-313.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., y Zhu, Y. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3), 437-471.
- Loo Y.Y., Billa L. & Singh A. (2015). Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers* 6, 817-823.

- Makuey, G., Mc Arthur L. and Kuleshov Y. (2013). Analysis of trends in temperatura and rainfall in selected regions of Australia over the last 100 years. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, 1-6 December .
- Minetti, J., & Sierra, E. (1984). Expansión de la frontera agrícola en Tucumán y el diagnóstico climático. *RIAT*, 61, 109-116.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Vega, B., & Costa, M. C. (2007). Las sequías en la Pampa Húmeda: Impacto en la productividad del maíz. *Revista Brasileira de Meteorología*, 22(2), 218-232.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Poblete, A. G., & Mendoza, E. A. (2009). Latitudinal positioning of the subtropical anticyclone along the Chilean coast. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 58(2), 107.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Poblete, A. G., & Bobba, M. E. (2010). Regional drought in the southern of South America: physical aspects. *Revista Brasileira de Meteorología*, 25(1), 88-102.
- Minetti J.L., Poblete A.G., Vargas W.M. y Ovejero D. P. (2014a). Trends of the drought indices in southern hemisphere subtropical regions. *Journal of Earth Science Research*, 2 (2), 36-47.
- Minetti, J.L., Poblete, A.G., Vargas, W.M. y Ovejero, D.P. (2014b). Saltos climáticos en el Cuasi Monzón Sudamericano. *Breves Contribuciones del I.E.G.* N° 25. UNT. San Miguel de Tucumán.
- Moreno Muñoz, M. (2010). Justicia global y seguridad humana en el contexto del cambio climático. *Isegoría*, (43), 589-604.
- Munier, B. R. (2012). Global Uncertainty and the Volatility of Agricultural Commodities Prices. Doi: 10.3233/978-1-61499-037-6-111
- Mussio, V. (2009). Derivados Climáticos Aplicados a la Agricultura. *Universidad Nacional de Rosario*, Argentina.
- Nicholson S.E. y Entekabi D. (1986). The quasi-periodic behaviour of rainfall variability in Africa and its relationship to the Southern Oscillation. *Archives for Meteorol., Geophys and Bioclimat.*, Ser. A, 34, 311-348.
- Nicholson S.E. y Entekabi D. (1987). African environmental and climatic changes and the general atmospheric circulation in late Pleistocene and Holocene. *Climate Change*, 2. 313-348.
- Nicholson S.E. y Entekabi D. (1987). Rainfall variability in equatorial and Southern Africa: Relationships with sea-surface temperatures along the southwestern coast of Africa. *J. Climate and Appl. Meteorol.* 26, 561-578.
- Nicholson, S.E. (1989). Long-Term changes in African rainfall. *Weather* 44 (2), 46-56.
- Ortega Gaucin, D. (2014). Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera norte*, 26(spe3), 141-148.
- Peterson T.C., Heim R.R., Hirsch R., Kaiser D.P., Brooks H., Diffenbaugh N.S., Dole R.M., Giovannetone J.P., Guirguis K., Karl T.R., Katz R.W., Kunkel K., Lettenmaier D., McCabe G.J., Paciorek C.J., Ryberg K.R., Schubert S., Silva V.B., Stewar B.C., Vecchia A.V., Villarini G., Vose R.S., Walsh J., Wehner M., Wolock D.,

- Wolter K., Woodhose C.A., y Wuebbles D. (2013). Monitoring and understanding changes in heat waves, cold waves, floods, and droughts in the United States. State of Knowledge. *American Meteorological Society*. BAMS, June. 821-834.
- Philandras C.M., Nastos P.T, Kapsomenakis J., Douvis K.C., Tselioudis G. y Zerefos C.S., (2011). Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 3235-3250.
- Quintana J.M. y P.Aceituno (2012): Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43°S. *Atmósfera* 25, N°1, 1-13.
- Reboratti, Carlos. (2010). Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Revista de geografía Norte Grande*, (45), 63-76.
- Ropelewski, C.F y Halper M.S. (1987). Global and regional scale precipitation and temperatura patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 115,1606-1626.
- Spiegel, M. R. (1969). *Estadística*. Mc Graw-Hill. Panamá, 357 pp.
- Viñas, J. M. S. (2011). Volatilidad de los mercados agrarios y crisis alimentaria. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, (229), 11-35.
- World Meteorological Organization (1966). *Climatic Change*, Technical Note N°79. Geneve.

