

# ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN DIÁRIA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO.

FERNANDES TEIXEIRA, Nivaldo<sup>(1)</sup>; TEIXEIRA NERY, Jonas<sup>(2)</sup>; y MARTÍN-VIDE, Javier<sup>(3)</sup>

<sup>(1 y 3)</sup> Grupo de Climatología, Universidad de Barcelona, España. <sup>(2)</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ourinhos–SP, Brasil  
nivaldo@teixeira@gmail.com, jonas@ourinhos.unesp.br, y jmartin@ub.edu

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo efectuar el análisis de los episodios lluviosos diarios mediante el cálculo de las anomalías pluviométricas y los valores del Índice de Concentración (CI) de la precipitación diaria. La base de datos está constituida por 22 puntos de observaciones de la Agência Nacional de Águas (ANA), con series suficientemente largas, para el período de 1953 a 2012. Se utilizó el *software* R (paquetes Climatol y Precintcon), para la verificación de la consistencia y la estandarización, también para el cálculo del CI, y posterior confección de los mapas utilizando el programa *Surfer* 10. En general, en el semiárido los años de sequía se corresponden con El Niño y los años de lluvias abundantes con La Niña, aunque otros factores, como el Atlántico, pueden distorsionar esta relación. Se confirman los análisis previos que muestran que, cuanto más fuerte son los eventos El Niño (La Niña), mayores son las anomalías pluviométricas, es decir, los eventos El Niño – Oscilación Sur (ENOS) intensos provocan intensas lluvias (La Niña), o sequías severas (El Niño), contribuyendo para la concentración diaria.

Palabras clave: semiárido, precipitación, variabilidad, y ENOS.

## ABSTRACT

This study aims to perform the analysis of the daily rainfall events by calculating the rainfall anomalies and values of the Concentration Index (CI) of daily precipitation. The database consists of 22 points from observations of the Agência Nacional de Águas (ANA), a sufficiently long series for the period 1953 to 2012. The R software (Climatol and Precintcon packages) was used for verification of consistency and standardization, also for the calculation of CI, and subsequent preparation of maps using the Surfer program 10. Generally, in the semi-arid drought years correspond to El Niño years and La Niña with abundant rainfall, although other factors, such as the Atlantic, can distort this relationship. Previous analyzes showing that the stronger are the El Niño (La Niña), the greater the rainfall anomalies, namely, intense El Niño – Southern Oscillation (ENSO) events cause heavy rains (La Niña), or severe drought (El Niño) are confirmed contributing to the daily concentration.

Key words: semiarid, rainfall, variability and ENSO.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como espacio de estudios la región semiárida brasileña, más

conocida como “Polígono das Secas”. Según el “Instituto Nacional do Semiárido” (INSA) el área posee 982.563 km<sup>2</sup>, de los cuales un 89,5 % está ubicado en la región Noreste, y los 10,5 % restante en la región Sureste. La Figura 1, exhibe el territorio que está delimitado por las latitudes de 3° y 18°S y longitudes de 35° y 46°W. El área posee temperaturas medias anuales que oscilan entre 26 °C a 28 °C, el clima está clasificado como semiárido o BSh y BSk, según la tabla de *Köppen*. La cantidad de energía solar absorbida es muy significativa y está entre los 2.800-3.000 horas/año, ya la humedad relativa del aire es de un 65,0 % en media. La pluviometría es irregular con oscilaciones media entre los 400-800 mm anuales. Estudios de Rao et al. (1993) señalan que el 60,0 % de la precipitación anual en la región Noreste de Brasil ocurren entre los meses de abril y julio, en el periodo estacional de otoño e invierno austral. Así, las investigaciones de los eventos lluviosos pueden contribuir para mejorar el uso de la tierra y el desarrollo socioeconómico y regional.

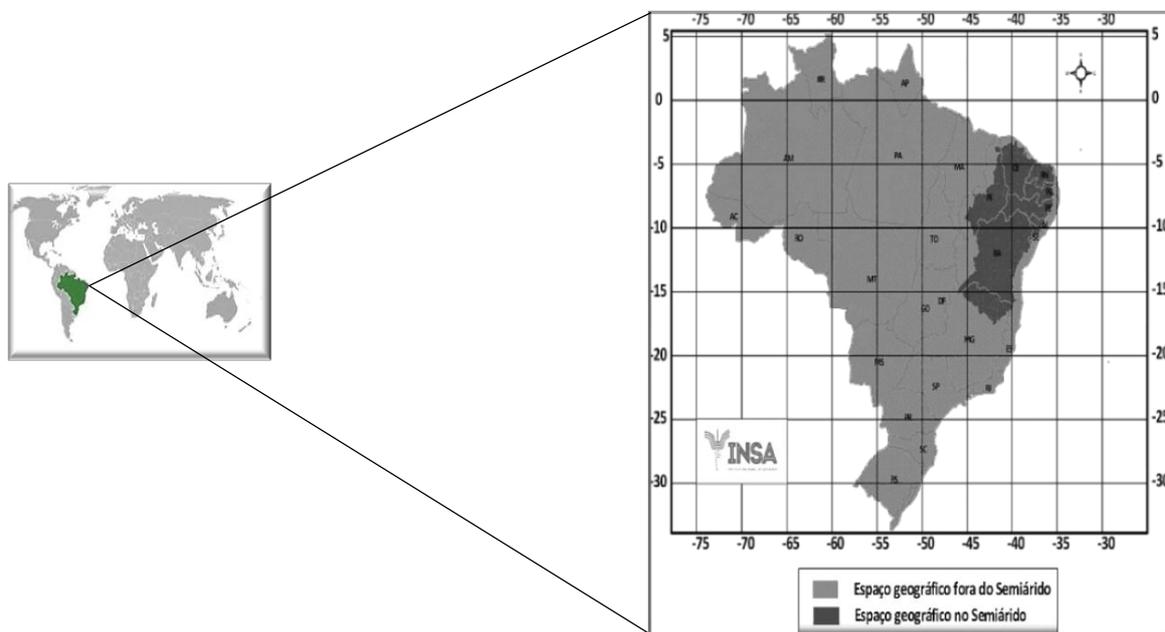


Figura 1 - Espaço geográfico del semiárido brasileño.  
Fuente: INSA, 2014.

El fenómeno de las sequías en Brasil, está catalogado en el pasado histórico, que remonta al siglo XVI (1583/1585), a través de los relatos de sequía por el cura jesuita Fernão de Cardin. En todo el territorio nacional, la región que más sufre con el déficit hídrico es la Noreste, debido a numerosos factores, pero principalmente por la irregular distribución espacio-temporal de las lluvias. Molion y Bernardo (2000) explican que la precipitación es la variable climatológica más importante en los trópicos. Mientras, Parra (2012) en sus estudios del clima para las zonas centro y sur de Chile continental habla que el régimen pluviométrico es la fisonomía climática más relevante de caracterización de un área. Ya Nery (2012), más contundente apunta que el noreste brasileño tiene graves problemas de escasez de agua debido a la irregularidad de la precipitación y a su marcada variabilidad espacio-temporal. Así, la perspectiva es corroborar las afirmaciones de este último autor, a través de los resultados alcanzados, pues el objetivo es calcular el CI de la precipitación diaria, a una estructura fina

de 1 mm, utilizando el método desarrollado por Martín-Vide (2003). Y aun el análisis de los totales mensuales de precipitación del periodo para las anomalías pluviométricas.

La variabilidad interanual de la distribución de las lluvias en el norte del noreste brasileño, tanto en escalas espacial como temporal, está íntimamente relacionada con los cambios en las configuración de la circulación atmosférica de gran escala, con la interacción océano-atmosfera en el Pacífico y Atlántico (Molion y Bernardo, 2000). Así, la variabilidad interanual denominada ENOS es uno de los patrones de teleconexión más importante en escala global. Y respecto el área del semiárido es posible afirmar que tratase de uno de los más importantes sistemas que actúan en el área, provocando con cierto desfase, importantes anomalías (positivas/negativas). Para Kucharski et al. (2008), la región del noreste brasileño presenta anomalías pluviométricas negativas, con lluvias por debajo de la media.

Sin embargo, no son todos los eventos ENOS, que producen sequías en esta dicha zona. En números estudiosos del tema como los de Rao et al. (1983), Molion y Bernardo (2000), Molion (2006), Nery (2012), entre otros, acreditan que la correlación queda clara en años de intensos El Niños, con la ocurrencia de grandes sequías en la región. En los estudios publicados por Kane (2001) consta una estimativa de que un 40,0 % de los eventos ENOS no pueden producir sequías en la mencionada región. Pero en el trabajo de Nobre y Shukla (1996), sobre estudios de lluvias del noreste, ellos advierten acerca de la influencia de otros sistemas o subsistemas, que pueden intervenir en esta región, como ejemplo citan las temperaturas superficiales (positivas/negativas) de las aguas del océano Atlántico o dipolo del Atlántico y la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), las cuales convienen siempre estar observando, para análisis de las evoluciones y efectos esencialmente en el noreste de Brasil.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El periodo de estudio seleccionado para este trabajo, corresponde a 60 años lineares (1953-2012), y aun en dos periodos de 30 años (A = 1953-1982 y B = 1983-2012). Para tanto fueran seleccionados datos de 22 estaciones pluviométricas de la rede de la Agência Nacional de Água (ANA), que proporcione series suficientemente largas para el periodo elegido.

Todos los datos fueron homogeneizados y consistidos, a través del paquete Climatol (Guijarro, 2014), y posteriormente se empleó el método del CI propuesto por Martín-Vide (2003), utilizando el paquete “*Precintcon*” idealizado por Pova (2013). Los dos paquetes anteriores son desarrollados en ambiente R. Con los resultados alcanzados fueron confeccionados los mapas, usando el software “*Surfer 10*”, para observar la distribución espacio-temporal del índice en todo el territorio. Para ello, se recurrió a la Geoestadística del Surfer (semivariograma para la obtención del mejor modelo de interpolación). El uso de softwares y paquetes estadísticos son esenciales en el desarrollo y aplicación de la metodología seleccionada, ya que facilitan el análisis de los datos, aportando más calidad, fiabilidad y seguridad en los resultados. Además, el uso del R en el análisis y manipulación de datos constituye un valioso instrumento, especialmente en estudios climáticos. Para Nery (2012), el programa presenta un abanico de opciones de exámenes estadísticos, como testes paramétricos y no paramétricos, modelaje lineal y no lineal, diagnóstico de series temporales, simulaciones y estadísticas espaciales o descriptivas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Resultados revelados en los mapas de media climatológica, desviación típica y coeficiente de variación, están dispuestos en la Figura 2.

El primer mapa en la Figura 2 (A), corresponde a los resultados de las medias climatológicas, para conocimiento y espacialización de las cantidades de precipitación en el área de estudio, donde queda claro que el norte y noroeste presentan los mayores valores medios de precipitaciones. En la Figura 2 (B), está representando los valores de la desviación típica, donde se comprueba en las mismas partes mayores valores de los desvíos de las series históricas de precipitaciones, en relación a sus respectivas media, el que revela mayor variabilidad en la área de estudio. También es posible observar, que en la parte central del área, donde el volumen de lluvia anual es menor, igualmente es su desviación típica. Y el tercero mapa presentado en la Figura 2 (C), concierne a las isóneas de los valores del coeficiente de variación del semiárido brasileño. El análisis de los resultados, está de acuerdo con la clasificación propuesta por Martín-Vide (2003). Se observa una ascendencia de sur-norte, pero que todos los valores resultantes en el territorio son altos o elevados. Sin embargo, para la parte más septentrional del semiárido, los valores son muy altos, con lo que se comprueba que se tratar de una región de gran variabilidad, pues no solo llueve poco, sino que también posee alta variabilidad temporal, no garantizando alcanzar la media anual y aumentando el riesgo de que llueva en un día, la cantidad arriba de la capacidad de drenaje del terreno y produciendo inundaciones y deslizamientos de tierras.

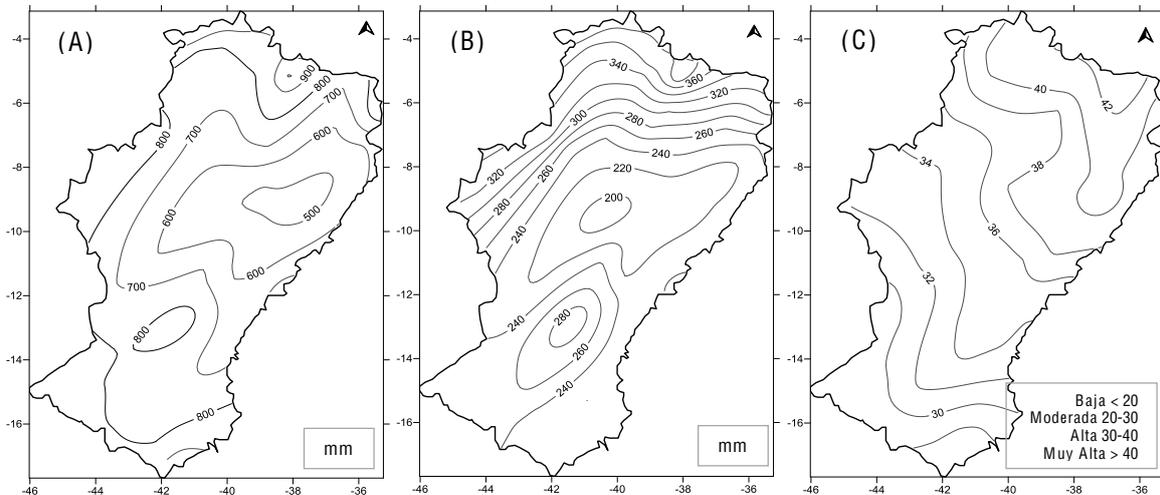


Figura 2 – Mapas del promedio climatológico, desviación típica y coeficiente de variación, periodo 1970-2012.

Los análisis de los resultados presentados en este trabajo respetan la clasificación propuesta por Martín-Vide (2003). Así un 82,0 % de los índices para el periodo de 60 años (1953-2012) revelaran ser moderados (18,0 % moderado bajo y 64,0 % moderado alto), y los 18,0 % finales se clasifican en CI altos. Mientras tanto, al efectuar un análisis en periodos de 30 años, se comprueba en A (1953-1982), que un 18,0 % de los resultados son clasificados con índices altos. Y los 82,0 % restantes son especificados como moderados (33,0 % moderado bajo, y 67,0 % moderado alto). Como la precipitación es una variable de elevado grado de incertidumbre, el segundo periodo de 30 años B (1983-2012), presenta cambios significativos

y muy visibles en el mapa, pues un 27,0 % de los índices se clasificaran como altos, y un 73,0 % moderado, (23,0 % moderado bajo y 50,0 % moderado altos).

Como ejemplo y corroborando con el espacio geográfico en estudio, los autores señalan que la actividad agrícola llevada a cabo en el semiárido, por más de 8,5 millones de personas (INSA, adaptado de IBGE, 2010) están pendiente de esta actividad familiar de subsistencia, donde las precipitaciones en forma de chubascos o aguaceros intensos no son de buen provecho a los cultivos, tampoco a la recarga de los acuíferos, que ya sufre considerablemente con la escasez de agua, por su marcada característica climática.

La Figura 3, corresponde al mapa del semiárido con los resultados del CI, para el periodo de 1953-2012 (60 años), en el cual muestra la distribución de las isolíneas de valores con índices moderado en el norte, noreste, oeste y sudoeste. A menudo, en estas porciones del territorio las precipitaciones están influenciadas por mecanismos de grande, media y pequeña escalas, que actúan con mayor regularidad, contribuyendo para la disminución de la concentración de la lluvia diaria.

Martín-Vide (2003) explica que el CI permite distinguir las áreas de pocos días muy lluviosos y que tengan gran peso en el total de lluvias, pues estas zonas podrán ser convertidas en áreas de riesgos en virtud de las agresivas precipitaciones, y problemas de erosión, que por supuesto están vinculados a calidad de la cubierta del ambiente (rural o urbano). Para el periodo analizado, el área del semiárido brasileño, presento valores del índice por encima de 0.60, en la parte centro-sur. Sin embargo, los valores más acentuados se encuentran exactamente en el centro del área. Por otro lado, la parte norte, noreste y oeste son las zonas que resultan con mayor regularidad entre las cantidades diarias de precipitación, con índices entre 0.56 a 0.59 (moderados-altos). La hipótesis es que la menor latitud o proximidad con la línea del Ecuador favorezca a la regularidad o la distribución de valores diarios de lluvias.

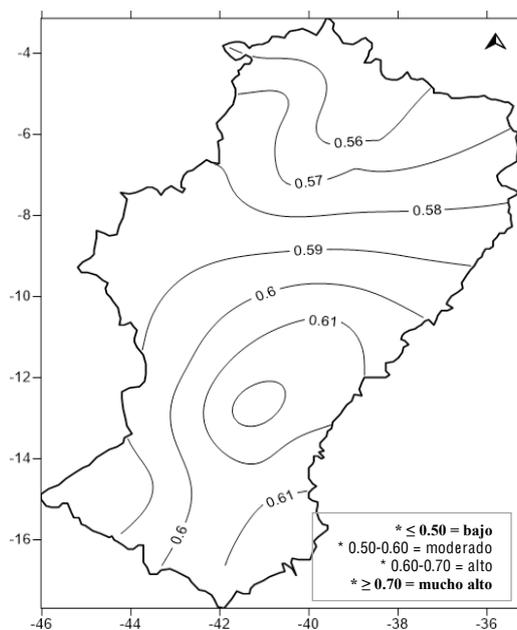


Figura 3: Mapa del CI, 1953-2012.

Ya en el sur, las lluvias exhiben variaciones, a través de dos distintos periodos, debido a la actuación de sistemas de este-oeste. El primer tiene como período más lluvioso o marcado, los meses de noviembre-febrero, o sea en las estaciones de primavera y verano del hemisferio austral, con pico de lluvia en el mes de diciembre. Mientras, en el segundo la cuadra lluviosa presenta periodo húmedo entre los meses de diciembre a marzo, donde el mes más lluvioso es marzo. Los principales mecanismos de precipitaciones en la franja son la estacionalidad de los sistemas frontales, que son alimentados por la humedad procedente del Atlántico sur definiendo la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), sistemas pre-frontales, convección local y brisas de mar y tierra que actual adyacente a costa oceánica. El último régimen es la parte más a este, próximo al litoral, donde el mes más lluvioso es mayo, dentro del periodo húmedo entre los meses de abril a julio.

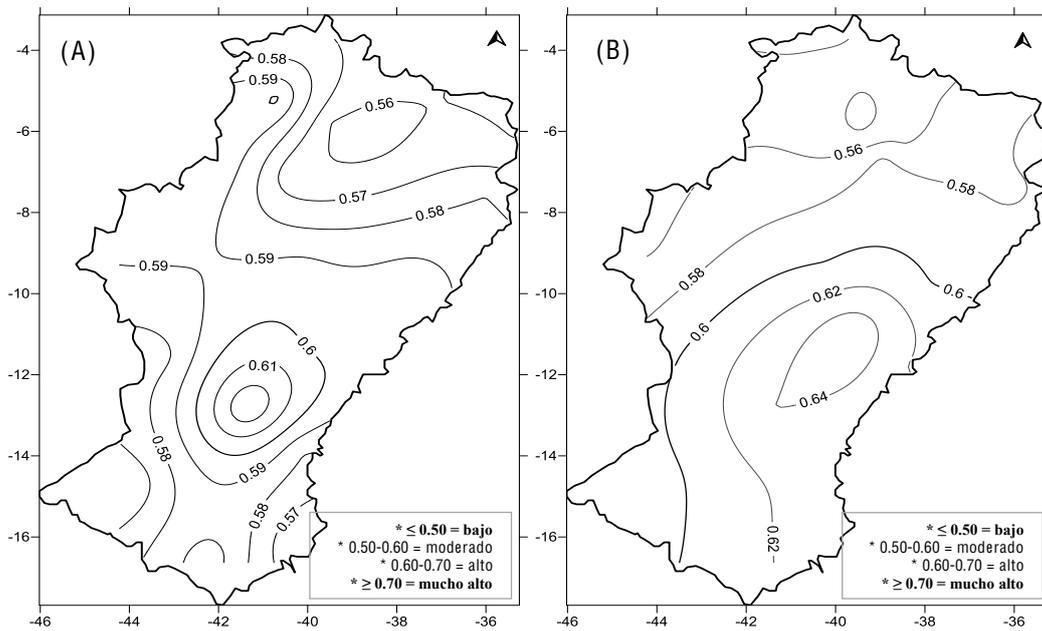


Figura 4 – Mapas del CI - (A) 1953-1982 y (B) 1983-2012.

Sin embargo, en el segundo periodo de 30 años (B = 1983-2012), se puede comprobar a través de los resultados un importante cambio, en las partes centro-sur del semiárido, pues los valores resultantes del CI están por arriba de los 0.64. De acuerdo con la clasificación propuesta por Martín-Vide (2003), las referidas partes poseen altos valores de concentración de las lluvias diarias. Observando la Figura 4 verificase, que la parte centro, este y sureste alcanzan los índices los 0.60 (alto). Ya las partes norte, noreste, oeste y sudoeste resultan con valores moderados (moderadamente altos, entre 0.56/0.59). Igualmente estos mismos espacios figuraran marcados en los otros ciclos estudiados, y presentaran similares valores para el CI.

#### 4. CONCLUSIÓN

Se puede afirmar con base en el uso del CI, que las lluvias en el semiárido están altamente concentradas, en las partes centro-sur en el periodo de 1953-2012 (60 años). Al analizar en separado, o sea, en dos periodos de 30 años (A = 1953-1982 y B = 1983-2012), se consuma que en (A), la concentración está exclusivamente en la parte central del área. Sin embargo, en

el según periodo (B) revela concentración de lluvias, para la parte centro-sur del semiárido, igualmente que en el periodo de 60 años. Así, es posible afirmar que el área de estudio posee marcada variabilidad en la precipitación, principalmente en el norte y noreste con coeficiente de variación arriba de 40,0 %.

Los valores del índice de concentración diaria también son muy marcados, resultando así en área no homogénea, con base en los datos de las 22 estaciones pluviométricas analizadas y mapeadas. Esta concentración demuestra mayor agresividad de las lluvias sobre parte del territorio en el suelo. Así que, el CI es, un bueno estimador de área de riesgo climático de erosión.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona, Cataluña, España, a través del Proyecto Español CGL2011-29263-C02-01. Los dos primeros autores tienen apoyo financiero del gobierno de Brasil (CsF-CAPES/proceso nº BEX 0683/13-2 y 8176/13-2).

## 6. REFERENCIAS

Agência Nacional de Água - ANA (2012). <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Guijarro, J. A. (2014). “*User’s guide to climatol*”. State Meteorological Agency (AEMET), Balearic Islands Office, Spain: <http://www.climatol.eu/index.html>.

Kucharski, F; Polzin, D. y Hastenrath, S. (2008). “Mecanismos de teleconexões do nordeste secas Brasil. Modelagem e evidência empírica”. En: *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23 (2), 115-125: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862008000200001&lng=en&tlng=.10.1590/S0102-7762008000200001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862008000200001&lng=en&tlng=.10.1590/S0102-7762008000200001).

Instituto Nacional do Semiárido - INSA (2014). “Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro”. Unidade de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Campina Grande – PB: [http://www.insa.gov.br/censosab/index.php?option=com\\_content&view=article&id=94&Itemid=93](http://www.insa.gov.br/censosab/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=93).

Macedo, M. J. H.; Guedes, R. V. S.; Neves, D. J. D.; y Sousa, F. A. S. (2011). Clasificación de la regionalización y pluviometría en el semiárido brasileño. *XX Congreso Mexicano de Meteorología*. Acapulco, Guerrero, México: <http://www.ommac.org/congreso2011/document/resumenes/Res2011018.pdf>.

Martín-Vide, J. (2003). El tiempo y el clima. Barcelona, Rubes, 128 pp.

Molion, L.C.B. (2005). “Aquecimento global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico”. En: *Revista Climanálise*, CPTEC/INPE: [http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/Artigo\\_Aquecimento\\_0805.pdf](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf).

Molion, L. C. B (2006). “Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico”. En: *Revista Climanálise*, ano 03 – nº 01. CPTEC/INPE.

Molion, L. C. B. y Bernardo, S. O. (2000). “Dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro”. En: *Anais dos Congressos Brasileiros de Meteorologia*. Edição XI. Rio de Janeiro.

Molion, L. C. B; y Bernardo, S. O. (2002). “Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro”. En: *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10.

Nery, J. T. (2012). “Análise da variabilidade da precipitação pluvial no Brasil e suas regiões”. Nobre, C. A.; y Molion, L.C.B. (1988). “The Climatology of Droughts and Drought Prediction”. In: Parry, M. P.; Carter, T. R. e Konijn, N. T. (eds.), *Impacts of Climatic Variations on Agriculture*, v.2: Assesments in semi-arid regions, D. Reidel Pub. Co., 764p.

Parra, K. A. (2012). Análisis del comportamiento de eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. Trabajo final de máster oficial: Água. Análisis Interdisciplinario y Gestión Sostenible. Institut Recerca de l'Aigua, curso: 2010-2012. Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

Povoa, L.V. (2013). “Manual do Usuário do Pacote Precinticon”. Laboratório Computacional da UNESP-Ourinhos, Brasil.

R Development Core Team (2014). “R Foundation for Statistical Computing”, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0: <http://www.R-project.org>.

Rao, V. B.; Lima, M., Franchito, S. H. (1993). “Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil”. In: *Journal of Climate*, 6, 1754-1763.

Siqueira, A. H. B.; Souza, L. O.; Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O.; Salvador, M. A. y Oliveira, J. P. P. (2006). “Impactos do ENOS no norte e nordeste brasileiros e sua relação com a Oscilação Decadal do Pacífico”. *Edição XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Florianópolis – SC, Brasil.