

Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996

Franklin Paredes¹, Jorge Luis Millano¹ y Edilberto Guevara²

¹Universidad Nacional Experimental Ezequiel Zamora (VIPI-Programa Ingeniería), Cojedes, Venezuela. (franklinparedes75@gmail.com; jorgelumilla@gmail.com)

²Universidad de Carabobo (Escuela de Ingeniería Civil), Carabobo, Venezuela. (eguevara@uc.edu.ve).

(Recibido: 20-Abr-2008. Publicado: 4-Jul-2008)

Resumen

La sequía ocurre cuando las lluvias disminuyen o cesan durante varios días, meses o años. En los últimos años, la región de los Llanos venezolanos ha presentado varias sequías meteorológicas, ocasionando fallas en los sistemas de abastecimiento de agua. Con la finalidad de conocer el comportamiento de este fenómeno y confrontar sus impactos, en este trabajo se efectúa una caracterización del régimen espacial y temporal de las sequías meteorológicas en los Llanos de Venezuela en base a los registros disponibles en 50 estaciones pluviométricas operadas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MinAmb) para el período 1961-1996, distribuidas en los estados Apure, Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa, Barinas y Guárico. La magnitud anual del período seco se estimó usando una adaptación del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) de McKee. También se determinaron la dispersión espacial, frecuencia, espaciado temporal, duración y extensión de los periodos secos interanuales. La ocurrencia de las sequías en la región no sigue un patrón espacial definido; aunque se evidencia un incremento en la ocurrencia de periodos secos muy extremos.

Palabras clave: Sequías meteorológicas, sequías, períodos secos, Llanos venezolanos, Índice SPI.

Abstract

Droughts happen when rainfalls diminish or cease during a period of several days, months or years. In the last years meteorological droughts have been occurred in the Llanos of Venezuela causing failures of water supply systems. To understand the behavior of this phenomena and to cope with its impacts, in this research the spatial and temporal regime of droughts in the region has been studied, based on rainfall records of 50 gauges for the period 1961-1996 and distributed over the states Apure, Anzoátegui, Cojedes, Portuguesa, Barinas and Guárico and operated by the Environmental Agency. The annual magnitude of dry period was estimated using a modified Index of Standardized Precipitation (SPI) of McKee. There were also determined spatial dispersion, frequency, temporary spacing, duration and extension of inter-annual drought. The occurrence of droughts in the region does not follow a defined spatial pattern; nevertheless, it is evident that the occurrence of very extreme dry periods increases.

Key words: Meteorological droughts, Droughts, dry periods, Venezuelan Llanos, SPI-Index

1. Introducción

La región de los Llanos son extensas planicies aluviales de topografía plana, ubicados entre la desembocadura del río Orinoco en el Oriente, y la Cordillera Andina en el Occidente de Venezuela. Abarcan unos 250.000 km² distribuidos entre los estados Apure, Barinas, Guárico, Portuguesa, Cojedes y Anzoátegui (figura 1). Esta unidad fisiográfica posee un clima tropical lluvioso (Aw), con una estrecha franja semiárida (BS) al Noroeste del estado Anzoátegui.

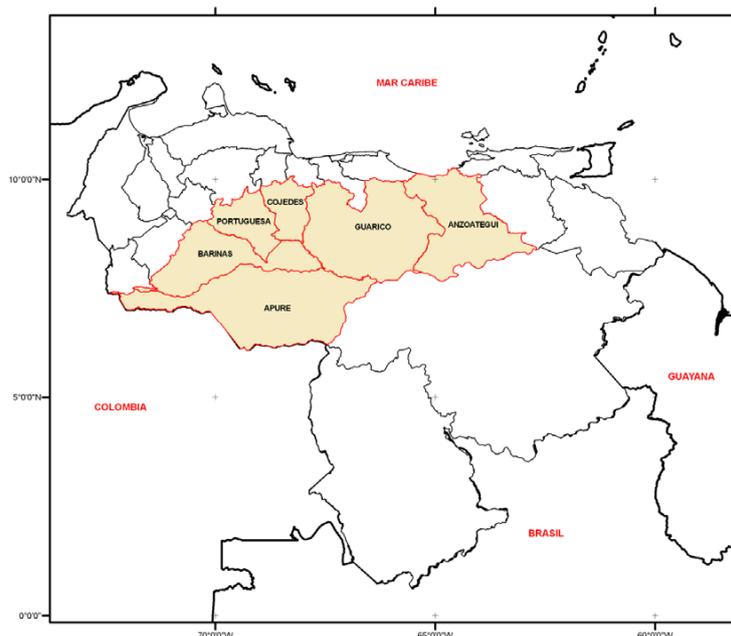


Fig. 1: Ubicación geográfica de la región de los Llanos de Venezuela. (El área sombreada es el área de estudio).

En la región de los Llanos se encuentra la mayor producción agrícola de Venezuela; allí se ubican las principales unidades de producción de maíz, arroz y sorgo del país. El sector agroindustrial se surte de esta materia prima para producir una extensa variedad de productos alimenticios de consumo masivo, como harina de maíz, arroz blanco y otros derivados. Los cereales son cultivos de secano, por lo que, cuando en esta región las lluvias disminuyen o cesan durante varios días o meses, ocurren severos daños en la producción, afectando seriamente el mercado de los cereales y sus subproductos.

El Instituto Nacional de Desarrollo Rural (INDER) del gobierno de la República Bolivariana de Venezuela ha propiciado la construcción y operación de varios sistemas de riego en Los Llanos, a fin de asegurar la producción de cereales; no obstante, la mayor parte de las pequeñas unidades de producción no tienen acceso a esa infraestructura rural para las irrigaciones y están obligados a cultivar en condiciones meteorológicas naturales, lo cual ocasiona que sus rendimientos agrícolas estén fuertemente influenciados por la variabilidad climática (MAT, 2008). La agricultura de secano predomina en Venezuela; según Ovalles *et al.* (2007) sólo el 5.7 % del aprovechamiento agrícola de las tierras venezolanas se realiza bajo riego. En consecuencia, la producción es altamente vulnerable a las sequías extremas que ocurren en la región.

Por las consideraciones expuestas y con la finalidad de confrontar mejor el fenómeno de las sequías, surge la necesidad de estudiar el régimen que las caracteriza, con énfasis en la distribución espacial y temporal. De ese modo se puede conocer y comprender su evolución e identificar las zonas con mayor riesgo de sufrir temporadas secas, lo suficientemente severas como para ocasionar pérdidas económicas, desabastecimiento y perturbaciones en el circuito agroalimentario venezolano.

2. Marco teórico

La sequía es un fenómeno natural que ocurre cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción (ONU, 1994). La Organización Meteorológica Mundial define la sequía como un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico (OMM, 1992). Wilhite y Glantz (1985) basados en la recopilación de más de 150 definiciones, categorizan las sequías en cuatro grupos según

la disciplina científica con la que se analiza: meteorológicas, hidrológicas, agrícolas, y socioeconómicas. Por otro lado, Subrahmanyam (1967) distingue seis tipos de sequía: meteorológica, climática, atmosférica, agrícola, hidrológica y de gestión hídrica. Salas (1986) considera que las definiciones existentes se agrupan en tres categorías fundamentales:

- Aquella en la cual la sequía es definida como una cantidad absoluta de humedad (lluvia, escorrentía, humedad del suelo) por debajo de un umbral (por ejemplo, 20 días consecutivos sin llover).
- Aquella en la cual la sequía ocurre cuando la variable humedad se desvía de la normal, o de un valor medio, en un porcentaje especificado (por ejemplo, escorrentía menor que el 60 % de la media).
- Aquellas definiciones en las que la sequía ocurre cuando la variable humedad es insuficiente para satisfacer las necesidades humanas.

En referencia al grado de déficit de humedad, Yevjevich (1967) sugirió el uso de la siguiente terminología:

- Escasez: diferencia entre la demanda de agua y el agua suministrada, frecuentemente de carácter temporal, la cual suele generar pequeñas consecuencias económicas y cierta inconformidad en los usuarios.
- Déficit: falta de agua en un lugar dado, durante un intervalo de tiempo dado, con consecuencias relativamente moderadas.
- Sequía: déficit de agua de duración prolongada, gran área de cobertura y con grandes impactos sobre la región.

La conceptualización de sequía varía entre autores; sin embargo, la categorización propuesta por Wilhite y Glantz (1985) es la más difundida en el ámbito internacional. Debido a la variabilidad geográfica, algunas definiciones de sequía optan por no especificar umbrales fijos; por ejemplo, Palmer (1965) define sequía meteorológica como el intervalo de tiempo, generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar disminuye progresivamente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado. Otro ejemplo es el de Russell *et al.* (1970) quienes definen la sequía como la falta prolongada de precipitación, inferior a la media. Wilhite y Glantz (1985), la consideran como el grado de desviación de la precipitación en comparación a un valor “normal”, de una serie de tiempo preestablecida. En la mayoría de casos, las definiciones de sequía meteorológica presentan información específica para cada región particular, que varía en función de las características del clima regional. Por tanto, es imposible extrapolar una definición de una región a otra.

De acuerdo con Burton *et al.* (1978), las sequías meteorológicas pueden caracterizarse a través de siete parámetros: uno independiente; es decir, la magnitud. Cuatro correspondientes al componente temporal: duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciado temporal. Dos referidos al componente espacial: extensión y dispersión espacial. Para cuantificar estos parámetros es necesario aplicar cálculos matemáticos para establecer detalladamente en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuáles son los límites temporales del episodio seco. Prescindiendo de las unidades de medida para cada parámetro en su definición, existe una amplia variedad de índices para caracterizar los eventos secos utilizando los dos parámetros más relevantes: magnitud o severidad y duración.

En este trabajo se utiliza el Índice Estandarizado de Precipitación [SPI, Standardized Precipitation Index], desarrollado por McKee *et al.* (1993), el cual se ha convertido en uno de los más utilizados por los expertos para el seguimiento y monitoreo de sequías meteorológicas. Para calcular el índice SPI se debe

definir inicialmente el nivel de agrupación de los registros, que puede ser trimestral, semestral, anual o bianual, en estos casos el SPI se representa como SPI3, SPI6, SPI12 o SPI24, respectivamente. Así por ejemplo, si se desea evaluar las sequías meteorológicas en una localidad utilizando el índice SPI3, debe calcularse para cada mes el valor acumulado trimestral sumando los registros mensuales de los dos meses anteriores al mes en consideración; obteniendo de esta manera 12 subseries mensuales, una para cada mes. Luego, se utiliza la Función de Distribución de Frecuencia Teórica Gamma (FDFTG) para estimar la probabilidad de que el valor acumulado trimestral en un mes cualquiera, sea menor o igual al valor observado existente, $F(x)$. Según Mormeneo y Díaz (2003), de todas las funciones de distribución de frecuencia teórica, la FDFTG es la que mejor se ajusta a las series pluviométricas acumuladas. Seguidamente, se calcula para cada subserie mensual el valor Z que le corresponde a la magnitud $F(x)$, asumiendo que la probabilidad de no excedencia proviene de una distribución normal con media cero y desviación estándar igual a 1. El valor Z así estimado constituye el índice SPI.

Edwards y Mckee (1997) consideran que un episodio seco se inicia cuando el índice SPI presenta un valor inferior o igual a -1.0 y finaliza en el momento en que dicho índice adquiere un valor positivo. Si el índice SPI supera el umbral de -1.0 se habla de un nivel de sequía moderada, si es inferior a -1.5, se trata de una sequía severa, y para valores iguales o menores que -2.0 se está frente a una sequía extrema. Estos autores estiman la magnitud de la sequía sumando los índices SPI para todos los meses incluidos en el período seco.

En Venezuela, las investigaciones orientadas a la caracterización de sequías meteorológicas son recientes. La relación entre las variables climáticas sinópticas y la ocurrencia de eventos extremos en Venezuela fue estudiada por Martelo (2004), quien evaluó la causalidad entre el comportamiento espacio-temporal de la precipitación en Venezuela y la dinámica temporal de ocho Variables Macroclimáticas (VM) representativas de los subsistemas oceánico y atmosférico: temperatura superficial de Atlántico Tropical Norte, Atlántico Tropical Sur y Pacífico Ecuatorial (en todas las regiones Niño), Oscilación Quasi-Bianual a 50 mb, índice Zonal a 200 mb, índice de Oscilación Sur, Radiación Saliente de Onda Larga, y Manchas Solares. Los resultados revelan que son los valores extremos de las VM los que influyen sobre los valores extremos de lluvia, aunque hay algunas excepciones. En sus respectivas áreas de influencia espacial, el Pacífico caliente provoca temporadas secas muy secas, y si está frío, épocas secas muy lluviosas; el Atlántico Tropical Norte caliente produce temporadas lluviosas más lluviosas que lo normal, y si está frío, temporadas lluviosas pobres. Este trabajo constituye uno de los más completos llevado a cabo en Venezuela sobre la teleconexión entre los fenómenos climáticos globales y la ocurrencia de sequías meteorológicas en el país. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Cárdenas *et al.* (2002) y Millano *et al.* (2007).

Mendoza y Silva (2004) caracterizaron las sequías meteorológicas en la cuenca alta del río Guárico en Venezuela, empleando el índice PSDI en las estaciones pluviométricas Camatagua, San Juan y San Sebastián, con periodos de 26, 16 y 26 años, respectivamente. Encontraron que en dichas estaciones ocurren sequías con diferente grado de intensidad, siendo en la estación de Camatagua donde se da la sequía extrema de mayor duración; en San Sebastián se identifican 12 eventos de sequías, de las cuales cerca de un 42 % son eventos extremos. Recientemente, Ovalles *et al.* (2007) utilizaron dos Modelos de Circulación General Acoplados Atmósfera-Océano (MCGAAO): el modelo británico UKTR y el modelo canadiense CCCEQ, para predecir el clima de Venezuela en los años 2020, 2040 y 2060. Los resultados del primero indican que se presentará una disminución de la precipitación y una ampliación de las áreas con menor nivel de precipitación en la zona Oriental (Sucre, Monagas, Anzoátegui, Bolívar y Delta Amacuro) y en el Centro-Occidente del país (Aragua, Carabobo, Miranda, Yaracuy, norte de Guárico, Vargas); mientras que los resultados del modelo canadiense sugieren una disminución y expansión del área con menor precipitación en el Occidente (Costa Oriental y Sur del Lago de Maracaibo, piedemonte andino en Barinas y Apure, y Sur del Táchira). Estos hallazgos concuerdan con los obtenidos por Martelo (2007) y lo expresado en el informe más reciente del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007a y 2007b).

3. Materiales y métodos

3.1. Unidad de estudio

En esta investigación la Unidad de Estudio (UE) abarca los Llanos Centrales, Occidentales y Orientales de Venezuela, región que engloba la mayor parte de los estados de Cojedes, Apure, Guárico, Barinas, Portuguesa y Anzoátegui (figura 1).

3.2. Fases de la investigación

Fase I. Selección de estaciones pluviométricas: Se seleccionaron para el análisis los registros de 50 estaciones pluviométricas operadas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MinAmb), ubicadas en los Llanos de Venezuela, que cumplen con los siguientes criterios: 1) más de 30 años de registros continuos; 2) no más de 2% de datos mensuales faltantes; 3) no más de 10% de registros anuales incompletos; 4) series anuales homogéneas según la prueba de Easterling *et al.* (1996). De ese modo, la muestra quedó conformada por 1 estación en Apure, 10 en Anzoátegui, 6 en Cojedes, 15 en Portuguesa, 7 en Barinas y 11 en Guárico (figura 2); el alcance temporal se extiende de 1961 a 1996, por ser el lapso común de la muestra.

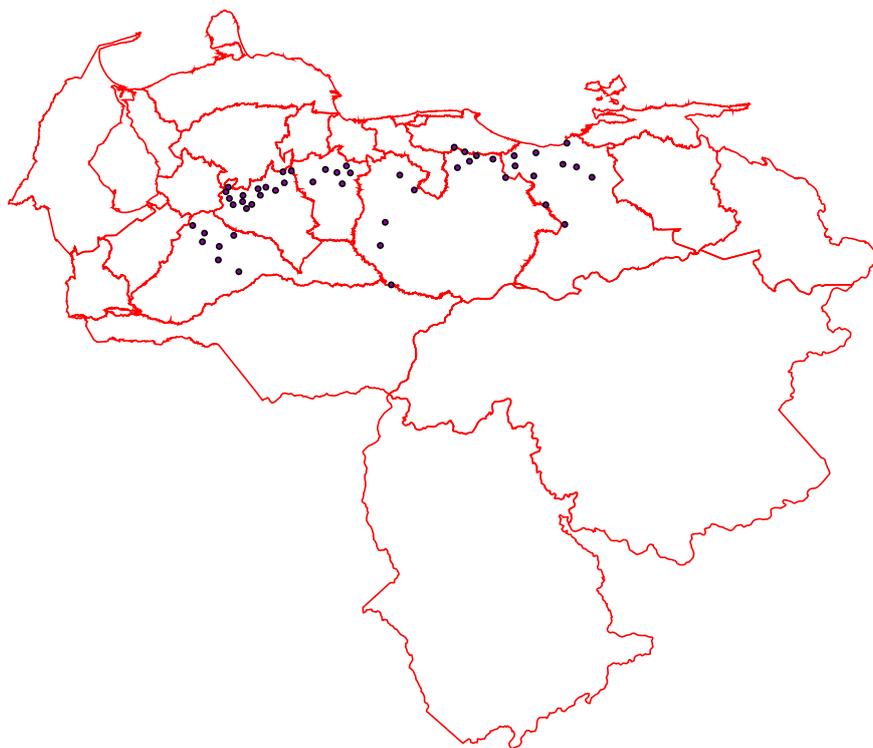


Fig. 2: Ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio.

Fase II. Cálculo del SPI modificado anual: Para cada mes se determinó el valor acumulado trimestral, incluyendo los registros mensuales de los dos meses anteriores, obteniéndose así 12 subseries en cada estación. Se estimaron los parámetros α y β de la Distribución de Probabilidad Teórica Gamma (DPTG) asociada a cada una de esas 12 series de precipitación acumulada. La función de densidad de probabilidad de la DPTG está dada por la siguiente expresión:

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Donde x es el registro acumulado trimestral expresado en mm, y α y β son los parámetros característicos de la distribución. La probabilidad de que el acumulado trimestral en un mes cualquiera, en una subserie, sea menor o igual al registro existente, se representa como $F(x)$ y se estima como sigue:

$$F(x) = \int_0^x f(x, \alpha, \beta) dx \quad (2)$$

Para estimar los parámetros α y β de la ecuación 1, se utilizó la metodología propuesta por Campos (2005), que se resume a continuación: Se calcula para cada subserie mensual, una variable auxiliar adimensional, A , definida de la siguiente manera:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_1^{n'} \ln(x_i)}{n'} \quad (3)$$

Donde $\ln(x_i)$ es el logaritmo neperiano del registro acumulado trimestral, n' representa el número de registros no nulos, y \bar{x} es la media aritmética de la subserie mensual expresada en mm. Del paso anterior se obtienen 12 variables auxiliares, A . Para estimar los parámetros α y β de cada subserie se emplean las ecuaciones 4 y 5:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad (4) \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5)$$

Los registros nulos en las subseries mensuales imposibilitan calcular la variable auxiliar A (el logaritmo neperiano de cero tiende a infinito), por lo tanto se empleó la Función Gamma Mixta (FGM) propuesta por Thom (1971), como sigue:

$$H(x) = q + pF(x) \quad (6)$$

Donde q es la probabilidad de que se presente un valor nulo en la subserie, $p = 1 - q$ es la probabilidad de que no se presente un valor nulo en la subserie, y $H(x)$ es la probabilidad de no excedencia del registro.

Una vez determinado $H(x)$ para cada registro, en cada subserie mensual, se estimó el valor Z que le corresponde, considerando que la probabilidad de no excedencia de $H(x)$ proviene de una distribución normal con media cero y desviación estándar igual a 1. El valor Z así estimado constituye el SPI3.

Para calcular la magnitud del periodo seco durante un año cualquiera en una estación determinada, se empleó una variante del método original propuesto por Edwards y Mckee (1997): se acumularon los SPI3 mensuales cuya magnitud era igual o inferior a -1 , y cuando el SPI3 era mayor a -1 se sustituyó por un cero. Bajo este enfoque, un valor de SPI > -1 indica una condición normal o húmeda. La referida variante se resume en la ecuación 7.

$$DM = - \sum_{i=1}^{12} SPI3_i \quad \text{sí y sólo sí } SPI3_i \leq -1 \quad (7)$$

Donde DM representa la magnitud de la sequía durante el periodo seco del año evaluado, y SPI3 es el índice SPI en agrupación trimestral. Después de calcular los valores DM en todas las estaciones durante el periodo 1961-1996, se identificaron los DM extremos, máximo y mínimo. En base a los extremos, se desarrolló la siguiente categorización:

1. Moderadamente seco: $DM < 5,89$,
2. Severamente seco: $5,89 < DM < 11,80$, y
3. Extremadamente seco: $DM > 11,80$

Fase III. Distribución espacial de los DM año a año: Para visualizar la dispersión espacial, la frecuencia, el espaciado temporal, la duración y la extensión de los periodos secos año a año durante el periodo 1961-1996, se empleó un Sistema de Información Geográfico (SIG).

4. Resultados

En los años 1961, 1964, 1984, 1989 y durante el trienio 1973-1975, en más del 30 % de las estaciones evaluadas se presentan un período seco “severamente seco” o “extremadamente seco”. En tanto que en los años 1974, 1984 y 1989 en cerca de un 10 % de estaciones ocurre un periodo “extremadamente seco”. A juzgar por los resultados, los años donde predominaron las estaciones con un periodo seco “extremadamente seco” fueron antecedidos por varios años donde los eventos “moderadamente seco” tendían a disminuir. Este comportamiento se observó claramente durante las sequías de 1975, 1984 y 1989, como se aprecia en la figura 3.

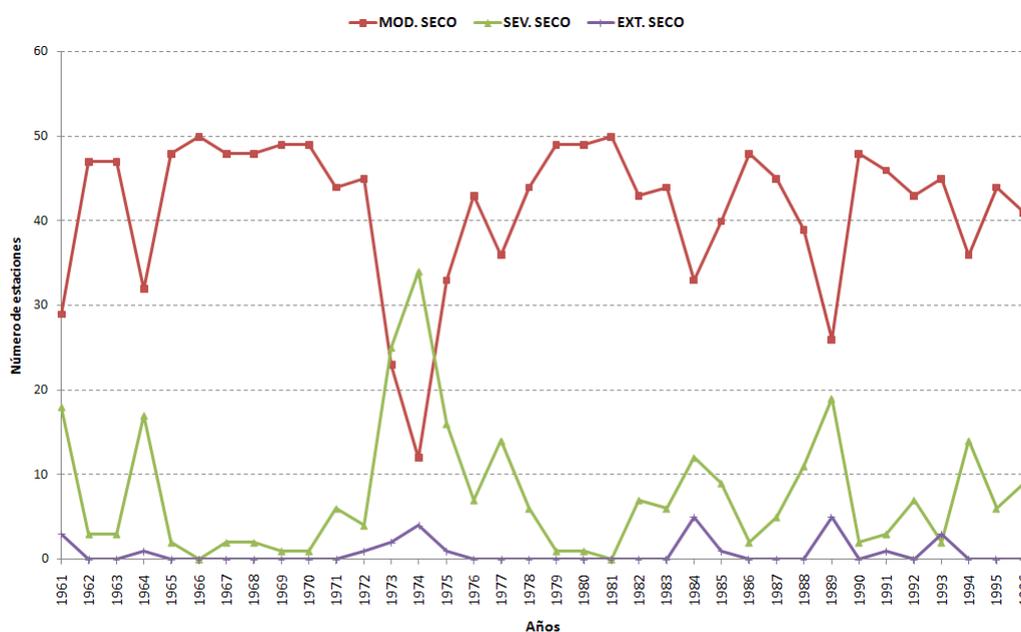


Fig. 3: Distribución anual del número de estaciones con diferente magnitud de sequía en la Unidad de Estudio durante la estación seca, a lo largo del periodo 1961-1996.

Desde el punto de vista espacial, la mayor frecuencia de períodos “extremadamente secos” ocurrió en las poblaciones de Tinaco del Estado Cojedes y Clarines del Estado Anzoátegui. Sin embargo, destacan dos aspectos: 1) En Clarines se presentan eventos más severos que en Tinaco; 2) se observa un incremento en la ocurrencia de sequías de gran magnitud en ambas localidades (figura 4). Aunque es normal que los periodos secos sean severos en Clarines por ser una zona semiárida, el fenómeno es atípico en Tinaco, debido a que forma parte de una región de clima tropical lluvioso (Aw).

La mayoría de las estaciones pluviométricas en las que ocurrió por lo menos un año con un periodo seco “extremadamente seco”, se localizan en la vertiente oriental de la Cordillera Andina (figura 5), indicando que la severidad de las sequías meteorológicas podrían estar relacionada con el factor orográfico.

Las épocas secas más severas en el área de estudio ocurrieron en 1974, 1984 y 1989 (figura 3). Durante la sequía meteorológica de 1974, en un 76 % de las estaciones se presentó un periodo seco “severamente seco” o “extremadamente seco” (figura 6). En ese período, la temperatura superficial del Océano Atlántico Subtropical Norte se encontraba en su punto más bajo (figura 9); mientras que en el Océano Pacífico meridional ocurría “La Niña” más intensa del periodo 1961-1996, con un SOI positivo máximo, superior a 2 (Ver figura 10).

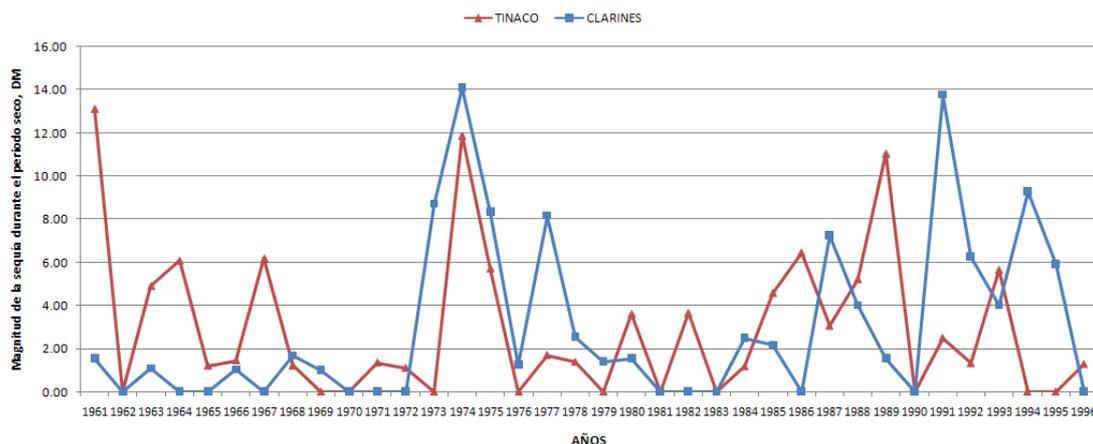


Fig. 4: Magnitud de la sequía durante la estación seca en las estaciones Tinaco y Clarines, a lo largo del periodo 1961-1996.

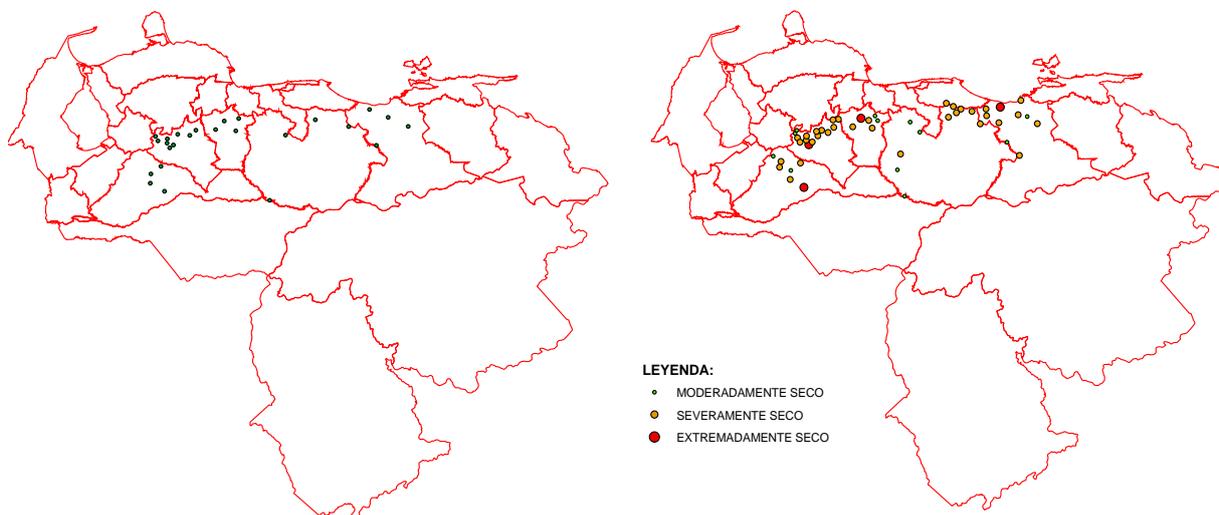


Fig. 5: Ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas en las que ocurrió por lo menos un año con un periodo seco extremadamente seco a lo largo del periodo 1961 y 1996.

Fig. 6: Categorización del periodo seco en los Llanos en función de la severidad de la sequía durante 1974.

La ocurrencia de sequía meteorológica de 1984 se concentró fundamentalmente en el piedemonte de los estados Portuguesa y Barinas (figura 7). En un 34 % de las estaciones se observa un periodo “severamente seco” o “extremadamente seco”; sin embargo, a diferencia de la sequía de 1974, con una extensión espacial más reducida. En este año, el Océano Atlántico Subtropical Norte estaba moderadamente frío (figura 9); y el Océano Pacífico Meridional se encontraba en condiciones normales (figura 10).

La sequía meteorológica de 1989 fue espacialmente más extensa que la de 1984; pero de menor extensión que la de 1974 (figura 8). En un 48 % de las estaciones ocurrió un periodo “severamente seco” o “extremadamente seco”; el Océano Atlántico Subtropical Norte se encontraba tan frío como en 1974 (figura 9), mientras que el Océano Pacífico Meridional estaba en condiciones normales (figura 10). En general, la ocurrencia de los periodos secos más extremos en el área de estudio coincide con un enfriamiento atípico de las aguas superficiales del Océano Atlántico Subtropical Norte (5-20°N, 60-30°W) durante los meses de febrero y marzo, y la ocurrencia de un intenso episodio “La Niña”. Sin embargo, la dispersión y extensión de los periodos secos extremos no muestran un patrón espacial específico; más bien tienden a ser aleatorio, como lo sugieren Mendoza y Puche (2004).

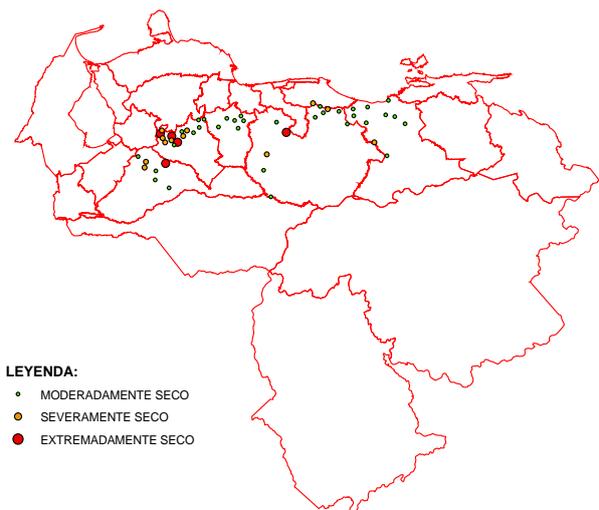


Fig. 7: Categorización del periodo seco en los Llanos en función de la severidad de la sequía durante 1984.

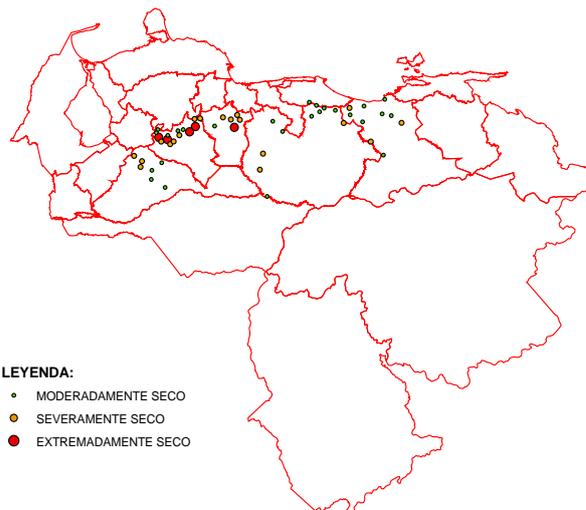


Fig. 8: Categorización del periodo seco en los Llanos en función de la severidad de la sequía durante 1989.

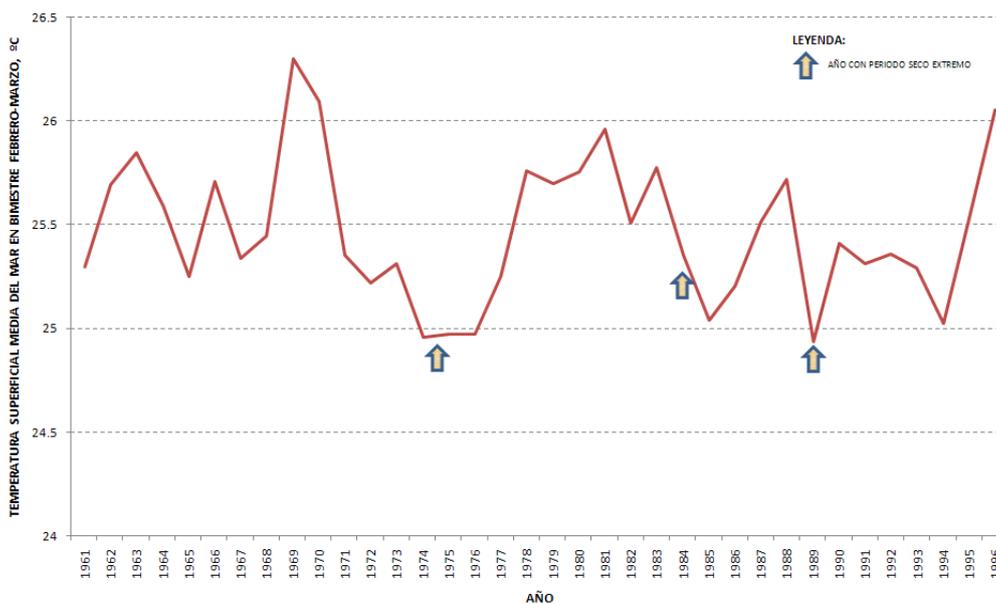


Fig. 9: Variación de la temperatura media superficial del Océano Atlántico Norte en el bimestre febrero-marzo a lo largo del periodo 1961-1996. Las flechas indican los años en los que ocurren periodos “seco extremo”.

El enfriamiento de las aguas superficiales del Océano Atlántico Subtropical Norte puede deberse a una situación meteorológica sinóptica; pudiendo suceder que el anticiclón de Las Bermudas logre desplazarse hacia el Ecuador más de lo normal, ubicándose sobre gran parte del área de los Llanos venezolanos, afectando los niveles troposféricos medios y altos e inhibiendo la formación de nubes de gran desarrollo vertical. En la figura 11 se observa cómo, durante la sequía de 1974, la presión atmosférica fue ligeramente superior al promedio normal en la zona centro-costera venezolana, sugiriendo la existencia de una zona de alta presión.

Una condición muy fría del Océano Atlántico Subtropical Norte podría asociarse con la ocurrencia de masas de aire con poca humedad transportadas por los vientos alisios, debido a la insuficiente energía

térmica para la generación de abundante vapor de agua. Estas masas, al chocar y ascender por la Cordillera Andina, pueden ceder gran parte de la humedad por el efecto de condensación orográfica; y al adentrarse en Los Llanos llegan tan secas que intensifican la severidad del periodo seco. En la figura 12 se observa cómo durante la sequía de 1974 las masas de aire transportadas por los vientos en la zona centro-costera de Venezuela poseen una humedad relativa inferior a la media; lo cual significa que los alisios eran considerablemente secos.

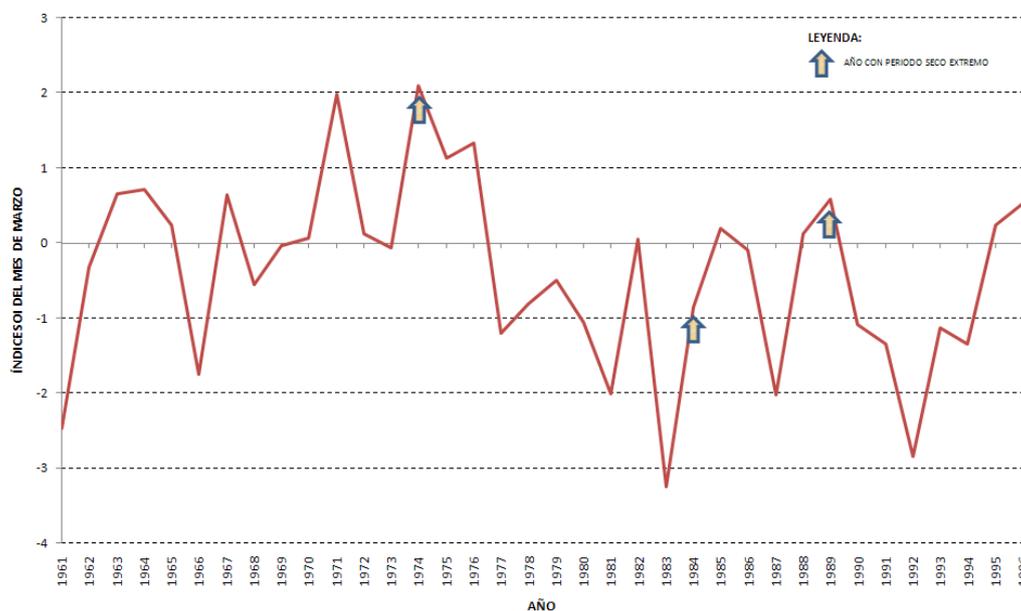


Fig. 10: Variación del Índice de Oscilación Sur (SOI) en el Océano Pacífico Meridional durante el mes de marzo a lo largo del periodo 1961-1996. Las flechas indican los años en los que ocurren períodos “seco extremo”. (Un SOI negativo indica la ocurrencia de “El Niño”; un SOI positivo indica la ocurrencia de “La Niña”).

Durante la ocurrencia de sequías meteorológicas extremas en el área de estudio, el mecanismo de acción del fenómeno “La Niña” no está bien definido. En todo caso, pareciera existir una compleja teleconexión entre la severidad de los periodos secos en los Llanos de Venezuela y las condiciones meteorológicas de los océanos Atlántico y Pacífico, que debe investigarse más detalladamente, como también lo plantea Martelo (2004).

A partir de 1980 se incrementa el número de estaciones pluviométricas en las que ocurren períodos “extremadamente secos” (figura 3). El aumento de la frecuencia de ocurrencia de periodos secos extremos puede transformar la sequía meteorológica en sequía agrícola o socioeconómica, efecto que obliga a la implementación de sistemas de riego en la región de Los Llanos, especialmente en las inmediaciones de las unidades de producción agrícola. Igualmente, se espera un impacto negativo de las sequías sobre los embalses más importantes de Venezuela, ubicados en la región de estudio, afectando de ese modo los principales sistemas de abastecimiento poblacional de la zona costera; la más densamente poblada del país.

5. Conclusiones

Las sequías meteorológicas en los Llanos de Venezuela presentan un comportamiento muy complejo que no se ajusta a un patrón espacial definido.

Es evidente un incremento en la ocurrencia de periodos secos muy extremos, lo cual podría ser una consecuencia del calentamiento global sobre los subsistema océano-atmósfera en el trópico. Se recomienda

reevaluar y ampliar este estudio a medida que se disponga de mayor información, sobre todo de registros pluviométricos. Igualmente es conveniente analizar las relaciones de causalidad entre las sequías meteorológicas en los Llanos de Venezuela y las variables macroclimáticas de los subsistema océano-atmósfera en el trópico.

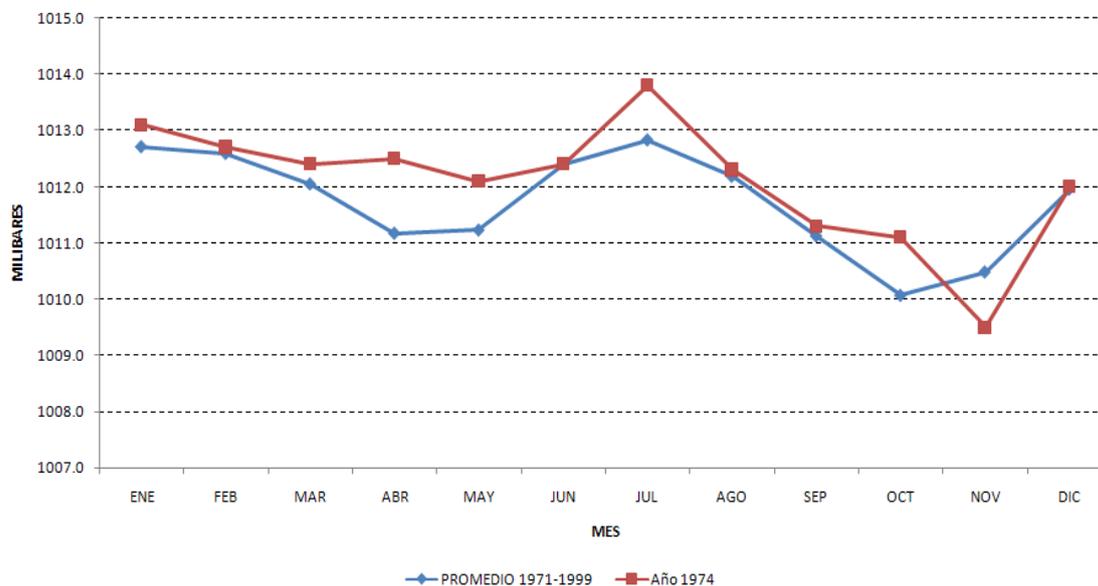


Fig. 11: Presión atmosférica media mensual en la estación climatológica “Puerto Cabello” en 1974, situada en la zona centro-costera de Venezuela ($10^{\circ}29'N$, $67^{\circ}59'W$, 2 m s.n.m., ver figura 1).

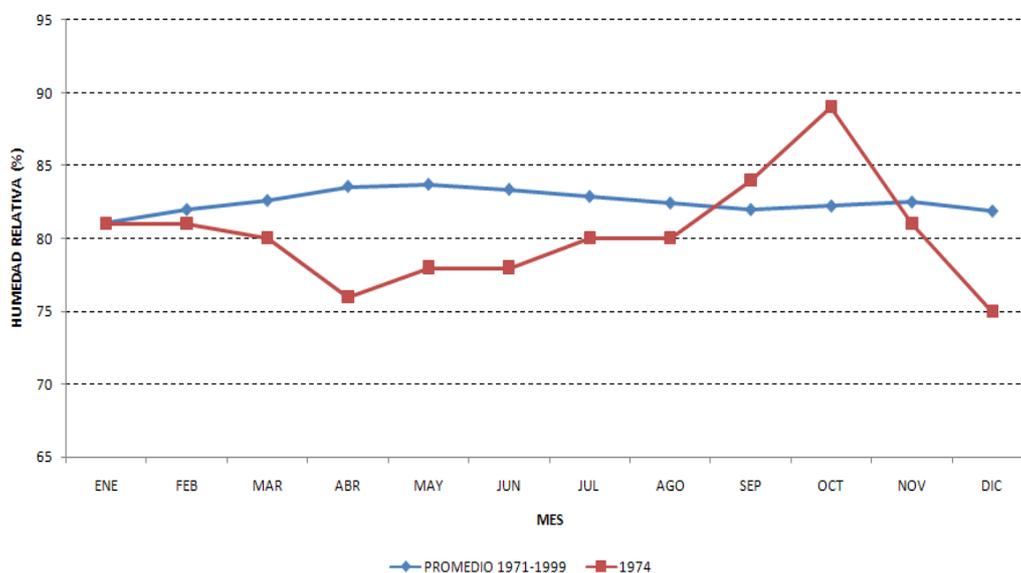


Fig. 12: Humedad relativa media mensual en la estación climatológica “Puerto Cabello” en 1974.

Agradecimientos

La investigación ha sido financiada por el CDCH de la Universidad de Carabobo y la Coordinación de Investigación del VIPI de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. Esta investigación es un avance del proyecto “Caracterización espacial y temporal de las sequías meteorológicas en Los Llanos de Venezuela”, código 31108101.

Bibliografía

- Burton I, Kates R and White G (1978): *The environment as hazard*. Oxford University Press, New York, 240 pp.
- Campos D (2005): *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Editorial Trillas, pp. 267-282.
- Cárdenas P, García L y Gil A (2002): *Impacto de los eventos El Niño Oscilación del Sur en Venezuela*. Corporación Andina de Fomento, 130 pp.
- Easterling R, Peterson C and Karl T (1996): On the development and use of homogenized climate data sets. *Journal of Climate*, 9:1429-1434.
- Edwards D y McKee T (1997): *Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales*. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- IPCC (2007a): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC (2007b): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van der Linden PJ and Hanson CE, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- Martelo M (2004): Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela. Ponencia en VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola, Maracay-Venezuela.
- Martelo M (2007): Cambio Climático y Alternativas Agrometeorológicas. Conferencia presentada en I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología, Maracay, Venezuela.
- MAT (2008): Presentado balance del Plan Integral de Desarrollo Agrícola 2007-2008. Boletín Nacional N° 21 del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras.
- McKee T, Doesken N and Kleist J (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California.
- Mendoza N y Puche M (2004): Evaluación de los eventos de sequía meteorológica en Venezuela: período 1950-1998. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de Ingeniería Agrícola. Trabajo de ascenso, 195 pp.
- Mendoza N y Silva E (2004): Caracterización de la sequía meteorológica en la cuenca alta del Río Guárico. VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola, Maracay, Venezuela.
- Millano J, Paredes F y Vivas I (2007): Efecto de la Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes. Revista Agrollanía, Vol. 4 @@páginas
- Mormeneo I y Díaz R (2003): Método para clasificar la anomalía de las lluvias. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, 11:159-167.
- ONU (1994): Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países afectados por Sequía Grave o desertificación, en Particular en África. Doc. A/AC.241/15/Rev 17. París.
- OMM (1992): Vocabulario Meteorológico Internacional. Publicación No. 182. Ginebra, Suiza
- Ovalles F, Cortez A, Rodríguez M, Rey J y Cabrera-Bisbal E (2007): Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. Ponencia presentada en I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela.

Palmer W (1965): Meteorological drought. Research Paper N° 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC, 58 pp.

Russell C, Arey, D and Kates R (1970): *Drought and water supply*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA, 232 pp.

Salas J (1986): State of the art of statistical techniques for describing drought characteristics. International seminar on drought analysis, Perugia, Italia. @ @págs?

Subrahmanyam V (1967): *Incidence and spread of continental drought*. WMO/THD Report N° 2, Ginebra.

Thom H (1971): *Some methods of climatological analysis*. Nota técnica N° 81, OMM N° 199, TP 103, Secretaría de la OMM, Ginebra, Suiza, pp. 1-11.

Wilhite D and Glantz M (1985): Understanding the drought phenomenon; the role of definitions. *Water International*, 10:111-120.

Yevjevich V (1967): *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic drought*. Colorado State University, Hydrologic Paper N° 23.

