


Evidencias de la variabilidad y cambios climáticos en Maturín, estado Monagas, Venezuela

Climatic variability and changes evidences at Maturín, Monagas State, Venezuela

José Alexander GIL MARÍN ¹, Beatriz I. LOZADA GARCÍA², Nadiezhda LÓPEZ PÉREZ¹,
Luis MARQUEZ³ y Marielin del Valle SALAZAR GIL¹

¹Departamento de Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente (UDO); ²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Táchira), Bramón, estado Táchira, Venezuela y ³Departamento de Ciencias Básicas, Unidad de Estudios Básicos, UDO, Maturín, 6201, estado Monagas, Venezuela. E-mails: jalexgil2005@hotmail.com y jalexgil@cantv.net  Autor para correspondencia

Recibido: 26/09/2011 Fin de primer arbitraje: 06/03/2012 Primera revisión recibida: 08/04/2012
Fin de segundo arbitraje: 15/04/2012 Segunda revisión recibida: 18/05/2012 Aceptado: 10/06/2012

RESUMEN

En los últimos años se ha presentado un cambio en los patrones climáticos de la ciudad de Maturín, sin embargo, a la fecha no existen estudios publicados que verifiquen si efectivamente el clima ha cambiado debido al efecto del calentamiento global. Esta investigación se centró en efectuar una serie de pruebas estadísticas para detectar señales de cambio climático en los registros de algunas variables del clima de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela; en el período 1951-2005 (55 años). Se identificó el año aproximado del cambio y su significación, para las series temporales de humedad relativa (Hr), evaporación y las temperaturas medias (Tmed) provenientes de la estación climatológica de la Fuerza Aérea venezolana, ubicada en Maturín. Para el análisis de tendencia se tomaron en cuenta tres períodos: total anual (enero-diciembre), seco (enero-abril) y lluvioso (mayo-diciembre). También, se determinaron los modelos probabilísticos que mejor fijaran las variables bajo estudio. Las series anuales de las variables climáticas fueron analizadas con el programa SAS versión 8.0 para determinar sus estadísticos básicos. El análisis de tendencia se efectuó por las siguientes pruebas no paramétricas: coeficiente de Spearman, de Mann-Kendall y de Pettitt, también se realizó un análisis de regresión lineal. Se identificó que ninguna de las variables sigue un patrón de distribución Normal, excepto la precipitación. Se determinó una tendencia creciente estadísticamente significativa ($\alpha=0,05$) en la Tmed y la evaporación, lo que pone en evidencia el cambio climático. La Hr presentó una tendencia decreciente significativa. Se localizaron cambios bruscos significativos para los periodos: anuales, secos y lluviosos, en las variables Hr y Tmed, mientras que la evaporación solo en los periodos anuales y lluviosos presento cambios significativos.

Palabras clave: Maturín, análisis de tendencia, series temporales, pruebas no paramétricas, modelo probabilístico

ABSTRACT

In recent years, there has been a change in climate patterns of Maturin city, however, there is not any study so far that has been published verifying whether or not the climate has changed due to the effect of global warming. This research focused to make a series of statistical tests to detect climate change signals in the records of some climate variables Maturin city, Monagas state, Venezuela, in the period 1951 - 2005 (55 years). The approximate year of change was identified and its significance, for time series of relative humidity (RH), evaporation and medium temperatures (Tmed) from the meteorological station of Venezuelan Air Force, located in Maturin. For trend analysis three periods were taken into account: annual total (January-December), dry (January-April) and rainy season (May-December). Also, the determined probabilistic models that best fitted to variables under study were determined. The annual series of climatic variables were analyzed with the program SAS version 8.0 to determine its basic statistics. The trend analysis was performed by means of following nonparametric tests: Spearman's coefficient, Mann-Kendall and Pettitt test, also a linear regression analysis was performed. It was founded that none of the variables follows a normal distribution pattern, except for precipitation. A statistically significant increased trend was determined ($\alpha = 0.05$) in Tmed and evaporation, which indicated a climate change. The RH showed a decreased significantly trend. The study founded significant abrupt changes for annual, dry and rainy periods, in the variables RH and Tmed, while for evaporation, significant changes were presented only in the annual and rainy periods.

Key words: Maturin, trend analysis, time series, nonparametric tests, probabilistic models

INTRODUCCIÓN

La historia del planeta muestra la ocurrencia de cambios climáticos desde la era cuaternaria. Varios de ellos caracterizados por cambios en la dinámica de los océanos, erupciones volcánicas o bien alteraciones de la radiación solar (Schwartz y Randall, 2003; Alexandrov y Hoogenboom, 2000).

Actualmente, la humanidad se enfrenta a un nuevo escenario de cambio climático donde varios estudios indican que debido a las grandes emisiones de gases del efecto invernadero como bióxido de carbono (CO₂); dióxido de nitrógeno (N₂O) y metano (CH₄), la temperatura promedio del planeta se ha incrementado entre 0,3 y 0,7 °C en los últimos 100 años (Carson, 1996; y Cao Mingkui *et al.* 1998). Dichos estudios también señalan que debido a este calentamiento global y al fenómeno climático el Niño, la ocurrencia de eventos climáticos extraordinarios como sequías, inundaciones, temperaturas extremas altas y temperaturas extremas bajas han aumentado en las últimas décadas (Lavenroth y Smith, 1996; Smith, 1996), lo cual puede afectar a diversos sectores de la economía, y en particular al sector agrícola, debido a su estrecha relación con el clima.

El calentamiento global y el cambio climático, pueden afectar directamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que el incremento de la temperatura y el CO₂ en la atmósfera afectan la tasa fotosintética de los cultivos (Wolf y Van Diepen, 1994). También pueden alterar los patrones de precipitación y la frecuencia de ocurrencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos. Se reporta que entre 1900 y 2005, la precipitación anual aumentó notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y América del Norte (Magrin, 2008). Por otra parte, en los últimos 50 años se observaron cambios en los eventos extremos, como reducción de la frecuencia de ocurrencia de noches y días fríos, y días con helada y escarchas en la mayoría de las áreas terrestres. En contraposición, aumentó la frecuencia de ocurrencia de noches y días cálidos, olas de calor y lluvias intensas. También, en los últimos 35 años se registró un aumento en la frecuencia de ocurrencia de huracanes severos (Magrin, 2008).

Por consiguiente, en Venezuela, la ocurrencia más frecuente de precipitaciones intensas implica mayor riesgo de inundaciones repentinas y

derrumbes, especialmente graves en áreas muy vulnerables como son las zonas montañosas fuertemente urbanizadas. El incremento de la temperatura es un problema grave que implica un mayor gasto de agua (que será cada vez más escasa) y de energía, así como un riesgo de salud en humanos y animales. Algunos expertos señalan que el futuro más plausible para el país consistirá en un aumento de la temperatura media debido principalmente a un aumento de las temperaturas nocturnas, así como una disminución de la precipitación, acompañada por un incremento de eventos extremos (Martelo, 2004)

El crecimiento poblacional e industrial en la ciudad de Maturín, ha sido de gran magnitud en los últimos 30 años, debido a la instalación de varias industrias nacionales y extranjeras, relacionadas directa e indirectamente con la actividad petrolera, este hecho ha causado un incremento de inmigración de la población hacia esta localidad. Estos incrementos en la población requieren de viviendas, vías de comunicación, escuelas y hospitales, dando como resultado un crecimiento urbano acelerado. La urbanización de una región cambia drásticamente las propiedades de las superficies, ya que la vegetación original de la región es reemplazada por pavimento, concreto, banquetas y otros materiales sintéticos utilizados en las construcciones. Esto da como consecuencia cambios muy drásticos en la absorción y reflectancia de la radiación solar por los cuerpos de la superficie y en la distribución de los componentes de la ecuación del balance de energía en la superficie, lo cual puede modificar el microclima de la localidad.

Algunos habitantes de Maturín señalan que en los últimos 30 a 40 años ha existido un cambio en los patrones climáticos de la ciudad, indicando que los periodos lluviosos del año son más cortos, mientras que los periodos de sequía son más largos y más calurosos. Sin embargo, a la fecha no existen estudios publicados que verifiquen si efectivamente el clima de Maturín ha cambiado debido al efecto del calentamiento global.

El interés por el estudio de la variabilidad climática, el cambio climático y su influencia sobre el régimen de precipitación, temperaturas y otros elementos del clima, se ha incrementado en los últimos años sin embargo estos estudios se ven afectados por problemas de confiabilidad de los registros climáticos o a la inexistencia de los mismos, por estas razones es importante disponer de series temporales homogéneas y que las inhomogeneidades

sean detectadas con pruebas estadísticas que permitan corregir esas desigualdades (Lozada y Barboza, 2007).

Con base en los antecedentes antes mencionados, los objetivos de este trabajo se centraron en efectuar una serie de pruebas estadísticas a los registros de temperaturas media, humedad relativa y evaporación de la ciudad de Maturín, periodo 1951 – 2005, para detectar señales de variabilidad y cambio climático que identifiquen la existencia de tendencias, que estimen el año aproximado del cambio y su significación en las series temporales antes mencionadas, para los periodos totales anuales (enero-diciembre), secos (enero - abril) y lluviosos (mayo - diciembre) de la ciudad de Maturín, estado Monagas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El trabajo se llevó a cabo utilizando la información de la Estación Climática de la ciudad de

Maturín, municipio Maturín, estado Monagas, situado geográficamente a 9°46'46" de latitud norte y 63°11'05" longitud oeste y a una altura de 63.5 m.s.n.m (Figura 1). Holdridge, citado por Gil *et al.* (2000), señala que el clima de la zona es del tipo Bosque seco tropical, caracterizado por presentar una estación lluviosa de mayo a diciembre y una estación seca de enero hasta abril, con una precipitación media anual de 1219,6 mm, una temperatura media anual de 25,9 °C, una evapotranspiración potencial de 1372 mm y una evaporación de 1573 mm.

Recolección de Datos y Variables bajo estudio

Las series de datos de humedad relativa, evaporación y temperatura media, provienen de registros diarios llevadas a cabo en la estación meteorológica de la Fuerza Aérea de la República Bolivariana de Venezuela (FAV), ubicada en las adyacencias del Aeropuerto de Maturín, estado Monagas. El periodo considerado va desde enero de 1951 hasta diciembre del 2005, totalizando 55 años.



Figura 1. Ubicación geográfica de la Estación Meteorológica de la Fuerza Aérea Venezolana.

Fuente: <http://education.nationalgeographic.com/education/mapping/outline-map/?map=venezuela>.

Análisis estadísticos de las variables climáticas

Las variables climáticas fueron analizadas por separado considerando tres ciclos o periodos: un periodo anual (de enero a diciembre), un periodo seco (enero-abril) y un periodo lluvioso (mayo-diciembre), en el caso del análisis de las tendencias con las pruebas no paramétricas. El resto de los análisis estadísticos se realizó solo a las series de datos anuales.

Análisis de tendencia de las variables climáticas

El análisis de la tendencia se efectuó a través de las siguientes pruebas no paramétricas: coeficiente de Spearman, de Mann-Kendall y la de Pettitt. También se realizó un análisis de regresión lineal para identificar alteraciones en las series por medio de la significación del coeficiente angular (*a*) de la ecuación:

$$Y = b + a X \tag{1}$$

La prueba es estadísticamente significativa si en el intervalo de confianza con un 95 % de probabilidad, el coeficiente angular (*a*) no incluye el valor cero. La regresión lineal se obtuvo al someter los datos a un análisis de regresión con el programa SPSS versión 8.0.

La prueba del coeficiente de Spearman (*r_s*), según Sneyers, (1990), determina si hay o no tendencia significativa en una serie temporal. El estadístico de la prueba es:

$$r_s = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - i)^2 \tag{2}$$

La distribución nula del estadístico es asintóticamente normal con esperanza (*E*) y varianza (*var*), respectivamente:

$$E(r_s) = 0 \text{ y } var(r_s) = \frac{1}{(n-1)} \tag{3}$$

El estadístico reducido (*u(r_s)*) sigue la distribución normal estándar:

$$\mu(r_s) = r_s \sqrt{n-1} \tag{4}$$

y la probabilidad, determinada de la N (0,1) es:

$$\alpha_1 = P(|\mu| > |\mu(r_s)|) \tag{5}$$

La hipótesis nula de no tendencia es rechazada al nivel de significación α_0 ($\alpha_0 = 0,05$) si $\alpha_1 < \alpha_0$. La tendencia es creciente si $r_s > 0$ y es decreciente si $r_s < 0$.

La prueba de Mann- Kendall, según Sneyers (1990), también determina si hay o no tendencia en una serie temporal. Sea *y_i* el rango de las observaciones ordenadas de menor a mayor. Para cada elemento *y_i* se cuenta el número (*n_i*) de los elementos *y_j* que lo preceden (*i > j*), tal que $y_i > y_j$. El estadístico de la prueba es:

$$t_n = \sum_{i=1}^n n_i \tag{6}$$

La esperanza y la varianza de la distribución nula del estadístico son:

$$E(t_n) = \frac{n(n-1)}{4} \tag{7}$$

y

$$Var(t_n) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \tag{8}$$

y la prueba se reduce a:

$$\mu(t_n) = \frac{[t_n - E(t)]}{\sqrt{var t}} \tag{9}$$

El estadístico sigue la distribución normal estándar. La probabilidad, determinada de la N (0,1) es:

$$\alpha_1 = P(|\mu| > |\mu(t_n)|) \tag{10}$$

La hipótesis nula de no tendencia es rechazada al nivel de significación α_0 ($\alpha_0 = 0,05$), si $\alpha_1 < \alpha_0$. Cuando *u(t_n)* es significativo, se puede observar una tendencia creciente ($u(t_n) > 0$) o decreciente ($u(t_n) < 0$) de la serie.

El análisis progresivo de la serie por medio del estadístico *u(t_n)*, localiza el inicio del fenómeno. Para ello, se calcula sustituyendo $n = i$ en las fórmulas (6), (7), (8) y (9). Igualmente se determina para la serie inversa. Las series *u(t_n)*'y *u(t_n)* son graficadas y, en el caso de una tendencia significativa, la intersección de las curvas localiza aproximadamente el inicio del fenómeno.

La prueba de Pettitt (1979), citado por Lozada y Barboza (2007) analiza si hay un punto de cambio significativo en la serie. Esta prueba emplea una versión de la prueba de dos muestras de Mann-Whitney. Para datos continuos esta propone el estadístico:

$$t = 2 - T \tag{11}$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j) \tag{12}$$

Donde: $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$, $\text{sgn}(x) = 0$ si $x = 0$, $\text{sgn}(x) = -1$ si $x < 0$.

Se calcula $k(t)$ para $1 \leq t \leq T$. El estadístico de la prueba es:

$$K(t) = \text{MAX}_{[1 \leq t \leq T]} |U_{t,T}| \tag{13}$$

El valor-P es calculado aproximadamente por:

$$\text{valor -P} \cong 2 \left\{ \frac{-6(k_0)^2}{(T^3 + T^2)} \right\} \tag{14}$$

Según Back (2001), citado por Lozada y Barboza (2007) los valores críticos de K pueden ser calculados por la ecuación:

$$K_{\text{crítico}} = \pm \sqrt{\frac{-\ln(p/2) (T^3 + T^2)}{6}} \tag{15}$$

La prueba de Pettitt señala un cambio brusco cuando el valor máximo (K_0) es significativo al nivel crítico de la prueba ($\alpha_0 = 0,05$).

La significación en estas pruebas se determinó al comparar el valor de los estadísticos de las pruebas con el obtenido de la Tabla de valores de t con $\alpha = 0,05$ y $n-2$ grados de libertad (53 grados de libertad), en este caso el valor determinado fue 2,007.

Cuadro 1. Coeficiente angular de la regresión (a) y su intervalo de confianza y estadísticos: Coeficiente de Spearman ($\mu(rs)$) y coeficiente Mann-Kendall ($\mu(tn)$) para la Humedad Relativa total anual, periodo seco y lluvioso de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela.

Época	Regresión (a)	Intervalo de Confianza a	Coeficiente Spearman	Coeficiente Mann-Kendall
Periodo seco	-0,26*	[-0,34; -0,18]	-5,02*	-5,89*
Periodo lluvioso	-0,31*	[-0,38; -0,24]	-5,39*	-6,44*
Total anual	-0,29*	[-0,36; -0,23]	-5,40*	-6,57*

*Significativo a $\alpha < 0,05$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tendencias de la Humedad Relativa

El análisis de regresión mostró una tendencia decreciente significativa al 5 %, en los periodos anual, seco y lluvioso, en un orden de aproximadamente 0,29 %, 0,26 % y 0,31 % por año respectivamente (Cuadro 1 y Figura 2a, 3a y 4a).

Las pruebas de Spearman y de Mann-Kendall corroboran que existe una tendencia en las series estadísticamente significativa en los tres casos. Como los estadísticos son negativos, las tendencias se consideran decrecientes en todos los periodos (Cuadro 1).

La prueba secuencial de Mann-Kendall (Sneyers, 1990), mostró que la tendencia es del tipo decreciente en todas las épocas estudiadas (Figuras 2b, 3b y 4b).

Para el período total anual, la prueba de Mann-Kendall reportó tres épocas con tendencia decreciente significativa ubicados en los periodos 1962 – 1970, 1975 – 1980 y 1986 – 2005 (Figura 2b). Mientras que la prueba de Pettitt para esta época, señaló un cambio brusco significativo en el año 1986 (Figura 2c), que también es detectado por la prueba de Mann-Kendall por el punto de intersección de los estadígrafos $\mu_{(ti)}$ y $\mu_{(t)}$.

Para el periodo seco, la prueba de Mann-Kendall, señala una tendencia decreciente significativa en los periodos 1960 – 1970 y 1988 – 2005, indicando que el cambio comenzó el año 1986 para este último periodo (Figura 3b). La prueba de Pettitt también determinó un cambio brusco decreciente muy significativo en el año 1986 (Figura 3c).

En cuanto al periodo lluvioso, la prueba de Pettitt localizó un cambio brusco en el año 1986 (Figura 4c), coincidiendo con los periodos anteriores,

y la prueba de Mann-Kendall mostró que la tendencia decreciente es significativa en los periodos 1964-1966, 1967-1970, 1975-1980 y 1986-2005, con un inicio de cambio en el año 1986 (Figura 4b). El análisis lineal indica que existe una tendencia a la disminución de la humedad relativa, en los diferentes períodos. Para el caso de la humedad relativa anual la disminución será de 0,29 % por año.

Estos resultados conducen a señalar que la disminución de la variable climática humedad relativa, es una consecuencia del efecto del cambio climático sobre la ciudad de Maturín. Se infiere que existe una tendencia a la disminución de la humedad relativa en los diferentes períodos estudiados.

Tendencias de la Temperatura Media

En el Cuadro 2 se resumen los análisis



Figura 2. Humedad Relativa. Época Total Anual. (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$, de la Prueba de Mann - Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

estadísticos de tendencia realizados a la temperatura media para los periodos total anual, seco y lluvioso.

El análisis de regresión lineal señaló una tendencia de aumento significativa en todos los periodos estudiados, en un orden aproximado de 0,031 °C por año en el periodo seco, 0,034 °C por año en el periodo lluvioso y 0,033 °C por año para el periodo total anual (Figuras 5a, 6a y 7a).

La prueba de Spearman y Mann-Kendall confirman la existencia de tendencia significativa en las series. Como los estadígrafos son positivos, la tendencia se considera creciente.

La prueba de Mann-Kendall, para el caso del periodo total anual, señaló que el cambio comenzó en el año 1998, tornándose la tendencia creciente

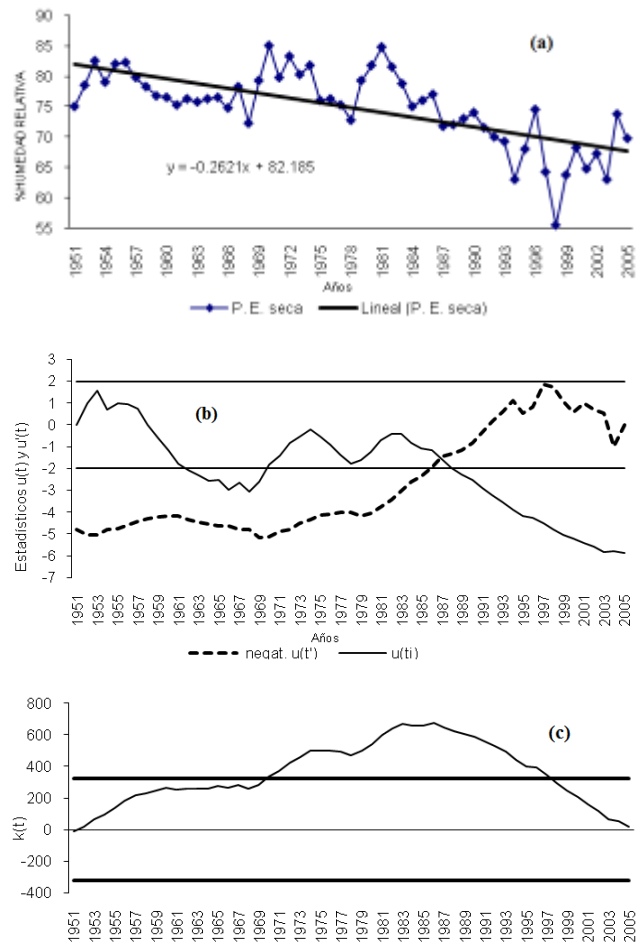


Figura 3. Humedad Relativa. Época Seca. (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$, de la Prueba de Mann - Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

significativa a partir de esta fecha y continua en la misma situación actualmente (Figura 5b). Por otro lado, la prueba de Pettitt señaló un cambio brusco en el año 1989 (figura 5c).

año 1991, tornándose esta significativa a partir del año 1994 hasta el presente (Figura 6b). Mientras que la prueba de Pettitt determinó un cambio brusco significativo en el año 1990 (Figura 6c).

Para el período seco, la prueba de Mann-Kendall, mostró una tendencia creciente a partir del

En el caso del período lluvioso, la prueba de Mann-Kendall reveló una tendencia creciente a partir

Cuadro 2. Coeficiente angular de la regresión (a) y su intervalo de confianza y estadísticos: Coeficiente de Spearman ($\mu(rs)$) y coeficiente Mann-Kendall ($\mu(tn)$) para la temperatura media total anual, periodo seco y lluvioso de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela.

Época	Regresión (a)	Intervalo de Confianza a	Coeficiente Spearman	Coeficiente Mann-Kendall
Periodo seco	0,031*	[0,020; 0,042]	4,17*	3,94*
Periodo lluvioso	0,034*	[0,024; 0,045]	4,30*	3,75*
Total anual	0,033*	[0,023; 0,043]	4,44*	4,12*

*Significativo a $\alpha < 0,05$

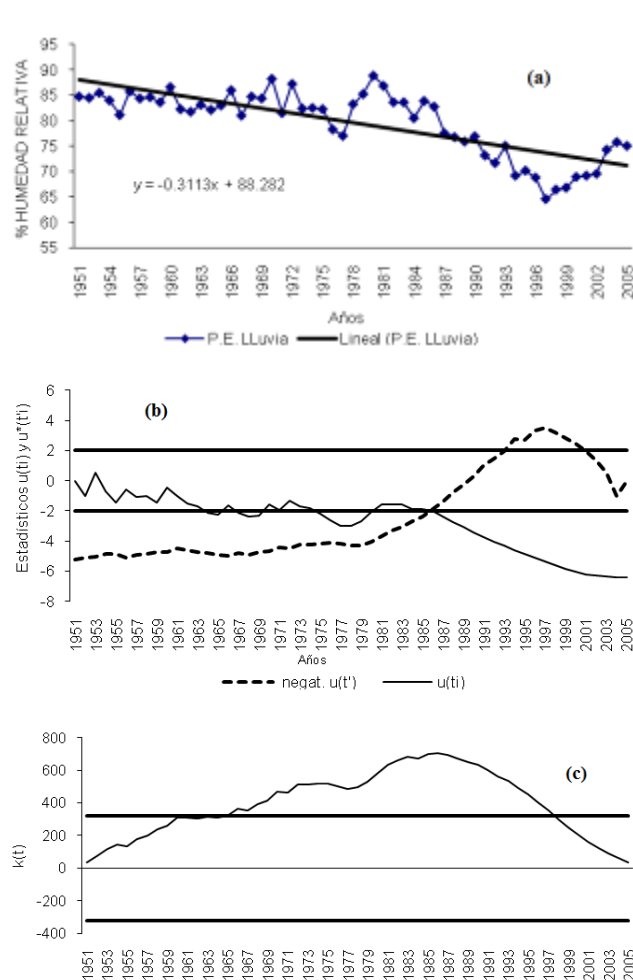


Figura 4. Humedad Relativa. Época Lluviosa. (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$, de la Prueba de Mann - Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

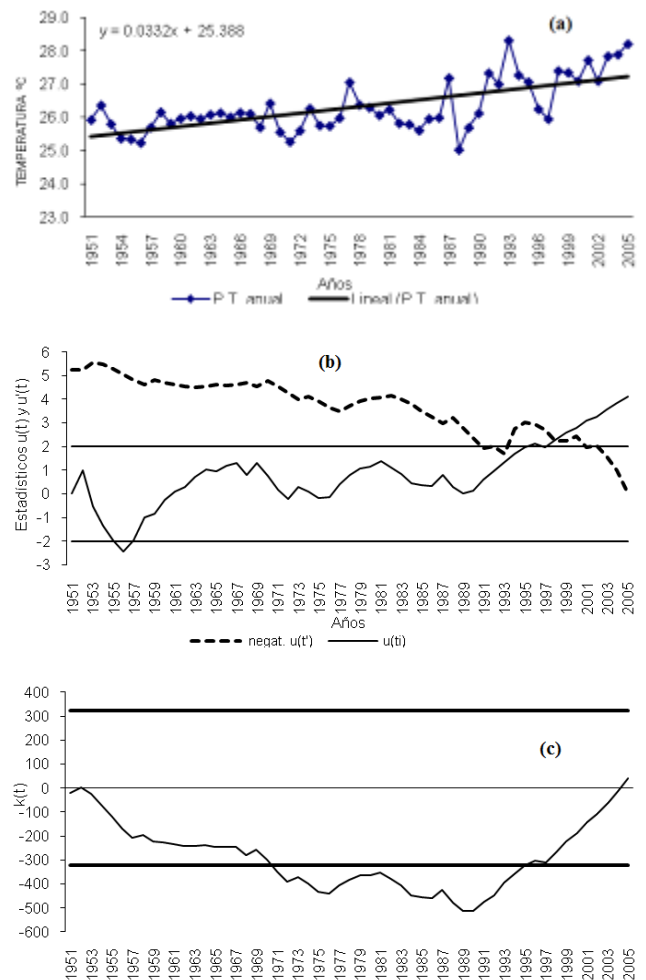


Figura 5. Temperatura Media. Época Total Anual (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$, de la Prueba de Mann - Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

del año 1997, la cual comienza a hacerse significativa en el año 1999 hasta el presente (Figura 7b), mientras que la prueba de Pettitt localizó el cambio brusco en el año 1989 (Figura 7c).

reporta tendencias de incremento de la variable temperatura media. Esta tendencia en el incremento de la temperatura media de la ciudad de Maturín en aproximadamente 0.3 °C en el último decenio, pone en evidencia una significativa tendencia al incremento de esta variable por efecto del calentamiento global.

Pérez *et al.* (1998) en un trabajo sobre evidencias del cambio climático en Colombia también

Cuadro 3. Coeficiente angular de la regresión (a) y su intervalo de confianza y estadísticos: Coeficiente de Spearman ($\mu(rs)$) y coeficiente Mann-Kendall ($\mu(tn)$) para la evaporación total anual, periodo seco y lluvioso de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela.

Época	Regresión (a)	Intervalo de Confianza a	Coeficiente Spearman	Coeficiente Mann-Kendall
Periodo seco	3,97	[-0,55; 8,48]	1,42	1,46
Periodo lluvioso	14,92*	[8,35; 21,50]	3,45*	3,38*
Total anual	18,89*	[8,31; 29,47]	3,05*	3,01*

* Significativo a $\alpha < 0,05$

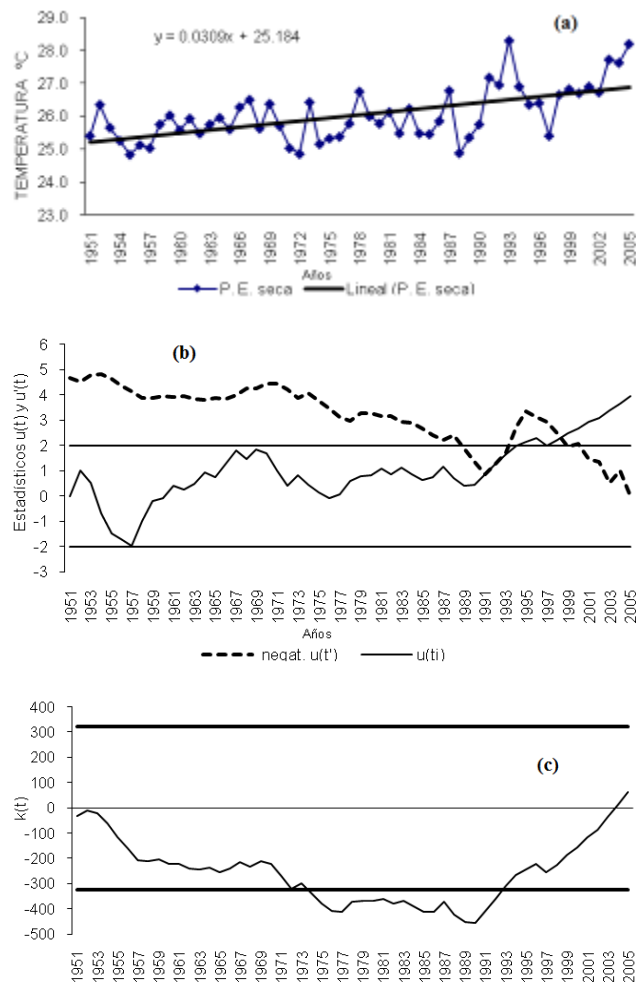


Figura 6. Temperatura Media. Época Seca (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$, de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

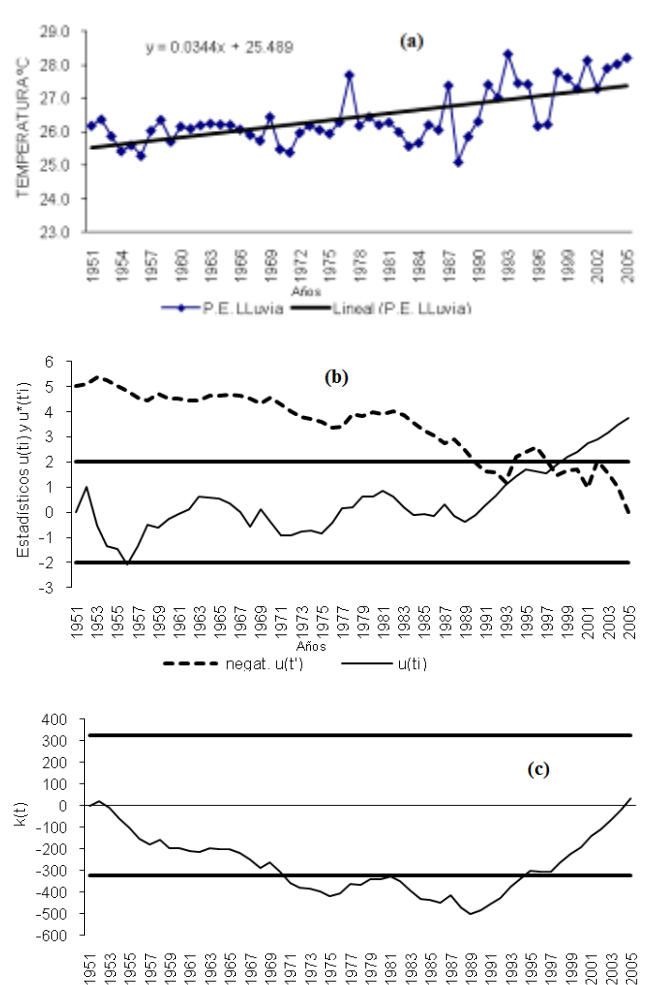


Figura 7. Temperatura Media. Época Lluviosa (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$, de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

Tendencias de la Evaporación

El análisis de regresión lineal (Cuadro 3) manifestó una tendencia de aumento significativa de la evaporación total anual, en un orden de aproximadamente de 18,89 mm por año. Cuando se consideran los períodos seco y lluvioso se observó que la tendencia de aumento sólo es significativa en el período lluvioso (aproximadamente de 14,92 mm por año), figuras 8a, 9a y 10a.

Las pruebas de Spearman y de Mann-Kendall afirman que existe una tendencia en las series, y son estadísticamente significativas solo para el período de evaporación total anual y el período lluvioso, como los estadígrafos son positivos, la tendencia se considera creciente.

La prueba de Mann-Kendall, para la evaporación total anual, indica que el cambio comenzó en el año 1998, tornándose la tendencia creciente significativa en el periodo 2000 – 2005 (Figura 8b), sin embargo, la prueba de Pettitt, señaló que el cambio brusco significativo comenzó en el año 1992 (Figura 8c).

Para el periodo seco la prueba de Pettitt resultó no significativa (Figura 9c) y según la prueba de Mann-Kendall, la tendencia creciente no tiene periodos significativos, pero señala un cambio en la tendencia en los años 1995 y 1998 (Figura 9b).

En lo que respecta al periodo lluvioso, la prueba de Mann-Kendall mostró que la tendencia creciente es significativa en el periodo del 2000 al 2005, con un comienzo de cambio en el año 1998

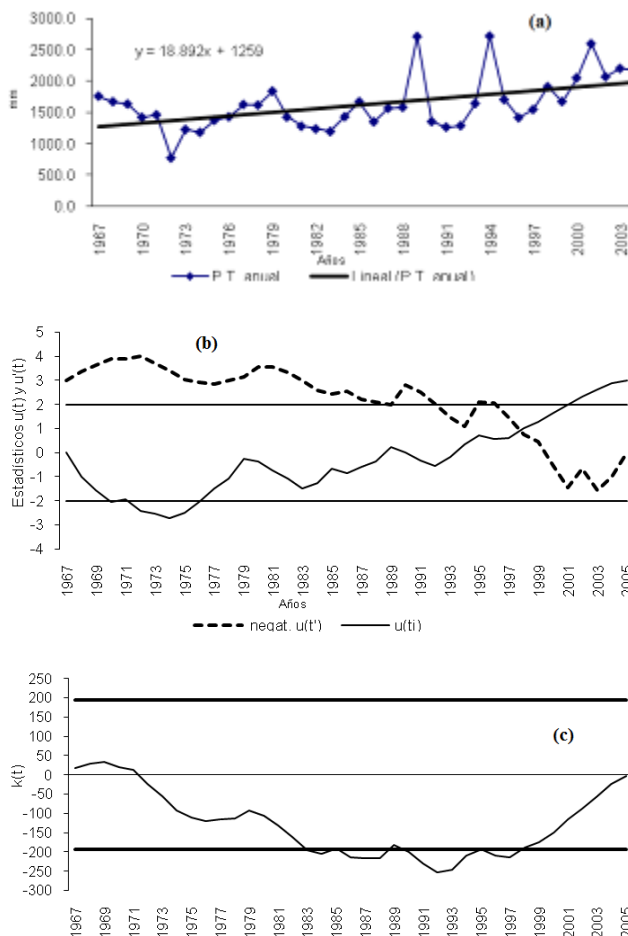


Figura 8. Evaporación. Época Total Anual (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$ y $u(t)$, de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

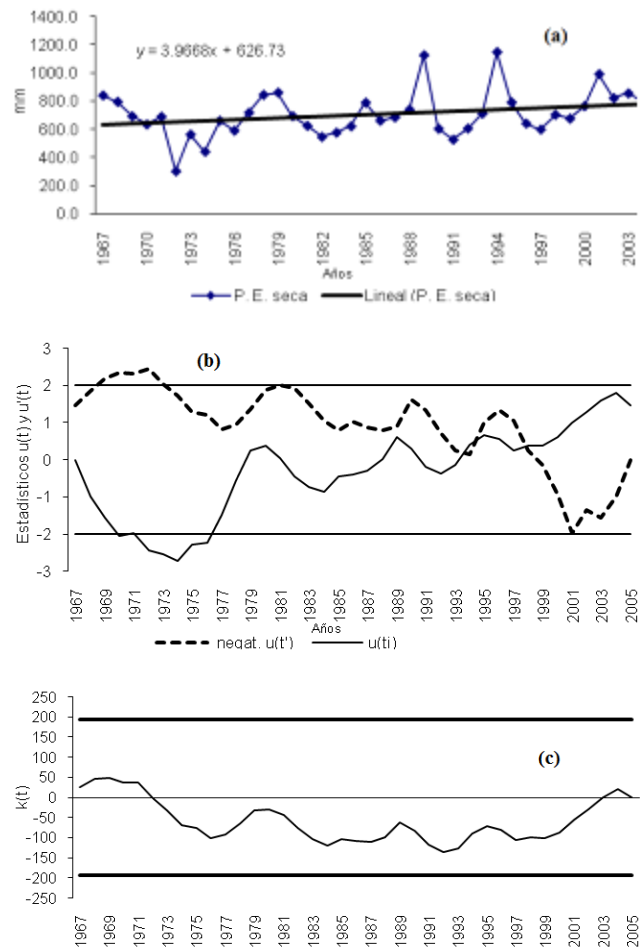


Figura 9. Evaporación. Época Seca (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$ y $u(t)$, de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

(Figura 10b), mientras que la prueba de Pettitt reporta el cambio brusco en el año 1992 (Figura 10c).

Esta tendencia de incrementos de la evaporación total anual en la ciudad de Maturín en aproximadamente 18,89 mm por año, es otra evidencia del cambio climático en nuestra localidad.

CONCLUSIONES

- El promedio anual para el periodo 1951 - 2005 de las variables bajo estudio es de aproximadamente: 26,3 °C para la temperatura media, un 78 % en humedad relativa y 1636,8 mm de evaporación (1967-2005).
- Se identificó una tendencia creciente estadísticamente significativa ($\alpha=005$) para la temperatura media y la evaporación en las series de Maturín, lo que pone en evidencia los efectos

del cambio climático y variabilidad sobre estas variables.

- La humedad relativa presento una tendencia decreciente significativa, por efecto del cambio climático y variabilidad.
- Se localizaron cambios bruscos significativos para todos los periodos (totales anuales, secos y lluviosos) en las variables humedad relativa y temperatura media, mientras que la evaporación solo en los períodos anuales y lluviosos presentaron cambios significativos.
- La causa del calentamiento local posiblemente se deben tanto al efecto invernadero como a los procesos de urbanización y deforestación que se han presentado en la ciudad de Maturín en los últimos años.

LITERATURA CITADA

Alexandrov V. A. and G. Hoogenboom. 2000. The impact of Climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology* 104: 315-327.

Cao, M.; K. Gregson and S. Marshall. 1998. Global methane emission from wetlands and its sensitivity to climate change. *Atmospheric Environment* 32 (19): 3293-3299.

Carson, D. J. 1996. Modeling climatic change: achievements and prospects. *Forests and Climate. Commonwealth – Forestry Review* 75 (1): 12-18.

Google Earth, 2010. Ubicación ciudad de Maturín, estado Monagas Venezuela. © 2010 Europa Technologies US Dept of State Geographer © 2010 Google © 2010 Tele Atlas. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.

Gil, J. A.; N. Montañó, L. Khan, A. Gamboa y E. Narvaez. 2000. Efecto de diferentes estrategias de riego en el rendimiento y la calidad de dos cultivares de Melón (*Cucumis melo* L.) *Bioagro* 12 (1): 25-30.

Lavenroth, W. K and T. M. Smith. 1996. Application of patch models to examine regional sensitivity to climate change. *Climate Change* 34: (2): 155- 160.

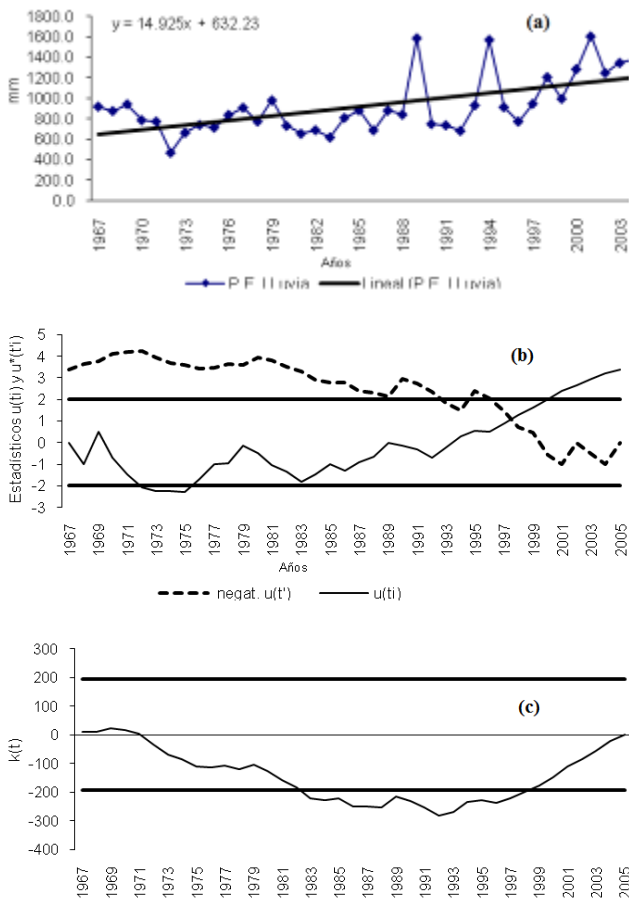


Figura 10. Evaporación. Época Lluviosa (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos $u^*(t_i)$ de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo $k(t)$ de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

- Lozada, B y C. Barboza. 2007. Tendencia de la precipitación pluvial en Bramón, estado Táchira, Venezuela. *Agronomía Tropical* 57 (2): 99-105.
- Magrin, G. 2008. Agricultura y cambio climático global. Costa Rica. [Documento en línea] Disponible en: http://www.pidaassa.org/a_climaNoticias.htm [Fecha de consulta: Marzo del 2009]
- Martelo, M. 2004. Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela – Proyecto MARN-PNUD VEN/00/G31. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología – Dirección General de Cuencas Hidrográficas – MARN.
- Schwartz P. and D. Randall. 2003. An abrupt climate change scenario and its implications for the United States national security Octubre 2003. [Documento en línea] Disponible en [<http://www.ems.org/climate/pentagon-climatechange.pdf>]. [Fecha de consulta: Marzo del 2009]
- Smith, J. B. 1996. Standardized estimates of climate change damages for the United States. *Climate Change* 32 (3): 313-326.
- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis de series de observations. Geneva. WMO. 192 p. Note technical N° 143.
- Pérez, C.; G. Poveda, O. Mesa, L. Carvajal y A. Ochoa. 1998. Evidencias de cambio climático en Colombia: tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos* 27 (3): 537-546.
- Wolf, J. and C. A Van Diepen. 1994. Effects of climate change on slage maize production potencial in the European Community. *Agricultural and Forest Meteorology* 71: 33-60.