

TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN BRAMÓN, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA

TEND OF RAINFALL IN BRAMÓN, TÁCHIRA STATE, VENEZUELA

Beatriz I. Lozada García* y Carmen Barboza*

Investigadoras. INIA. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Táchira (CIAE Táchira).
Carretera vía Delicias, Bramón, estado Táchira. Venezuela.
E-mail: beatrizloz@hotmail.com; blozada@inia.gob.ve; cabarboza@inia.gob.ve.

RESUMEN

La agricultura presenta una alta dependencia de las condiciones climáticas; dentro de los elementos del clima, la precipitación es la responsable por la alternancia en los rendimientos, debido a su variabilidad interanual. En los últimos años ha crecido el interés por los estudios de variabilidad y cambio climático, para lo cual es necesario disponer de series homogéneas. El objetivo de este estudio fue identificar la existencia de tendencia en las series de datos de precipitación total anual (PTA), y los totales de los períodos seco (diciembre-marzo) y húmedo (abril-noviembre) de Bramón, estado Táchira, Venezuela, en el lapso comprendido desde 1941 al 2005; asimismo, estimar aproximadamente el año de inicio de la tendencia de la precipitación y su significancia estadística. El análisis de la tendencia se efectuó a través de las siguientes pruebas no paramétricas: prueba de correlación serial (Wald-Wolfowitz), prueba del coeficiente de Spearman, prueba de Mann-Kendall y la prueba de Pettit. Se identificó una tendencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0,05$) de aumento de la PTA, y período húmedo en el lapso bajo estudio. La prueba de Pettit indicó un cambio abrupto significativo ($\alpha = 0,05$) en el año 1965.

Palabras Clave: Lluvia; series temporales; pruebas no paramétricas; Bramón; Táchira; Venezuela.

SUMMARY

The agriculture presents a high dependence of the climatic conditions. Of those elements of the climate, the rainfall is the responsible for the alternation in the yields, due to its inter-year variability. In the last years had increased the interest for the studies of variability and climatic change, so it is necessary to have homogeneous series. The objective of this study was to identify tendencies or trends in the series of annual rainfall, and of the rainfall of the dry (December-March) and wet (April-November) periods in Bramón (Táchira State, Venezuela), in the period from 1941 to 2005, and to estimate the year of beginning of the change in the tendency of the rainfall. The analysis of the tendency was done through the following not parametric tests: serial correlation (Wald-Wolfowitz), the coefficient of Spearman, Mann-Kendall, and the test of Pettit. A significant ($\alpha=0.05$) increase of the annual total rainfall, and wet time was observed. The test of Pettit showed a significant change ($\alpha=0.05$) in the year 1965.

Key Words: Rainfall Tendency in Bramón; Táchira State; Venezuela.

RECIBIDO: octubre 26, 2006

APROBADO: febrero 21, 2007

INTRODUCCIÓN

La agricultura, es la actividad productiva y económica, que presenta una mayor dependencia de las condiciones climáticas de una región, siendo estas las principales responsables por la variación en la producción anual de los cultivos. Dentro de los elementos del clima, la precipitación es el principal responsable de la alternancia de los rendimientos, y en condiciones de agricultura de secano su influencia es aún mayor. Igualmente afecta cultivos perennes, los cuales también presentan variación en sus rendimientos, tal es el caso de la producción de café en Bramón, estado Táchira, la cual depende de la oferta hídrica proveniente de las lluvias.

Por otro lado, en las últimas décadas, después de la Conferencia de Cambio Climático de Kyoto, la preocupación por la variabilidad climática, el cambio climático y su influencia sobre el régimen de precipitación, temperaturas y otros elementos del clima, se ha venido incrementando a nivel global. La teoría más aceptada sobre el origen del cambio climático, es que este es consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero por parte de la actividad del hombre. Una de las consecuencias directas del calentamiento global según Kart *et al.* (1976) citado por Back (2001) es la alteración de la frecuencia y distribución de las lluvias, incrementando la ocurrencia de sequías e inundaciones.

Martelo (2004), utilizando Escenarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (EEGEI), simuló el comportamiento de la temperatura y la precipitación en Venezuela, para escenarios climáticos “Pesimistas e Intermedios” con el escenario EEGEI (SRES-A2) y un escenario climático “Optimista” con el (SRES-B1). El autor encontró tendencia hacia una menor precipitación en el futuro, observándose diferencias regionales. El menciona que para los Andes existe mayor incertidumbre que para otras regiones. Considerando la consecuencia en la agricultura, Martelo (2004) señala que se presenta un cambio en el número de meses húmedos producto de los cambios en la precipitación y evapotranspiración, que pueden conllevar a cambios en la distribución espacio-temporal de los sistemas agrícolas.

Córdova (2003), menciona que en un estudio de la NOAA (National Oceanic Atmospheric Adminis-

tration) sobre anomalías en la precipitación para el trimestre febrero-marzo-abril del 2003, en Venezuela, se observó un déficit superior al 50% en la precipitación de la región nor y sur oriental del país, y para la región nor-central la reducción fue del 25%, en tanto que hacia la región centro-occidental se presentaron excedentes superiores al 120% de las precipitaciones.

Estudios sobre cambio climático y variabilidad y sus posibles relaciones se ven afectados debido a los problemas de confiabilidad de los registros climáticos o a la inexistencia de los mismos, por esto, es esencial disponer de series temporales homogéneas y además las inhomogeneidades deben ser detectadas y corregidas. Diversos autores (Back, 2001; Massmann *et al.* (2004); Yevjevich, (1972) citado por Back, (2001)), coinciden en definir tendencia de una serie como los cambios sistemáticos, continuos y graduales en el tiempo, de aumento o disminución de la variable estudiada. Massmann *et al.* (2004) definen cambio abrupto como un cambio brusco, permanente, del valor medio, durante el período analizado. En algunos casos, los cambios abruptos se suelen asociar a cambios en la instrumentación, en el proceso de observación, o en la ubicación de la estación.

El análisis de las series temporales consiste en la verificación de la existencia o no de tendencias y cambios bruscos en los valores de las medias, y si estos son estadísticamente significativos. Antes de la aplicación de estas pruebas debe ser verificada la independencia de la serie temporal, sin la cual pueden ser identificadas tendencias inexistentes (Pellegrino, 2001).

El objetivo del estudio es identificar la existencia de tendencia y estimar aproximadamente el año de inicio del cambio y su significancia, para las series de precipitación total anual (PTA), y los totales de los períodos seco (TPS) y húmedo de Bramón, estado Táchira, Venezuela.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las series de datos de PTA, y los TPS (diciembre-marzo) y húmedo (abril-noviembre) utilizada en el estudio pertenecen a la Estación Agrometeorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas

(INIA), Bramón, estado Táchira, localizada en las coordenadas: latitud: 7°39'22" N, longitud: 72°23'40" W y altitud: 1 105 m.s.n.m. El período considerado va desde 1941 al 2005.

El análisis de la tendencia se efectuó a través de las siguientes pruebas no paramétricas: prueba de correlación serial (Wald-Wolfowitz), prueba del coeficiente de Spearman, prueba de Mann-Kendall y la prueba de Pettit. También, se hizo un análisis de regresión lineal para identificar alteraciones en las series por medio de la significancia del coeficiente angular (a) de la ecuación:

$$Y = ax + b \quad (1)$$

La prueba es estadísticamente significativa si el intervalo de confianza (95%) del coeficiente angular (a) no incluye el valor cero.

La prueba de correlación serial de Wald-Wolfowitz ($u(r)$) según (Sneyers, 1990) evalúa el carácter aleatorio simple de una serie. El estadístico de la prueba es:

$$u(r) = [(n-1)r + 1] / \sqrt{n-1} \quad (2)$$

donde:

$$r = R / S_2 \quad (3)$$

$$R = S_2 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i' - y_{i+1}')^2}{2} \quad (4)$$

$$S_2 = \sum (y_i')^2 \quad (5)$$

y n es el número de elementos; y_i son los rangos centrados ($=y_i - \bar{y}$) de las observaciones ordenadas de menor a mayor. Para muestras grandes, el estadístico r_s sigue la distribución normal estándar y la probabilidad α_i , determinada de la $N(0,1)$ es:

$$\alpha_i = P(u > u(r)) \quad (6)$$

La hipótesis nula de no correlación es rechazada al nivel de significancia α_0 ($\alpha_0 = 0,05$) si $\alpha_i < \alpha_0$.

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

$$r_s = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum (y_i - i)^2 \quad (7)$$

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

$$E(r_s) = 0 \quad y \quad var(r_s) = \frac{1}{n-1} \quad (8)$$

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

$$u(r_s) = r_s \sqrt{n-1} \quad (9)$$

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

$$\alpha_i = P(|u| > |u(r_s)|) \quad (10)$$

La hipótesis nula de no tendencia es rechazada al nivel de significancia α_0 ($\alpha_0 = 0,05$), si $\alpha_i < \alpha_0$. La tendencia es creciente o decreciente si $r_s > 0$ ó $r_s < 0$, respectivamente.

La prueba de Mann-Kendall (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 elementos y_j que lo preceden ($i > j$), tal que $y_i > y_j$. El estadístico de la prueba es:

$$t_n = \sum_{i=1}^n n_i \quad (11)$$

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

$$E(t_n) = \frac{n(n-1)}{4}, \quad Var(t_n) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (12)$$

y la prueba se reduce a:

$$u(t_n) = [t_n - E(t)] / \sqrt{var t} \quad (13)$$

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

$$\alpha_i = P(|u| > |u(r_s)|) \quad (14)$$

La hipótesis nula de no tendencia es rechazada al nivel de significancia α_0 ($\alpha_0 = 0,05$), si $\alpha_i < \alpha_0$. 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 $V_{t,T}$, localiza el inicio del fenómeno. Para ello, se calcula $V_{t,T}$ sustituyendo $n = i$ en las fórmulas (11), (12), y (13). Igualmente se determina $V_{t,T}$ para la serie inversa. Las series $V_{t,T}$ y $u(t_i)$ son graficadas y, en el caso de una tendencia significativa, la intersección de las curvas localiza aproximadamente el inicio del fenómeno.

La prueba de Pettit (1979), analiza si hay un punto de cambio significativo en la serie. Pettit (1979), emplea una versión de la prueba de dos muestras de Mann-Whitney. Para datos continuos él propone el estadístico:

$$t = 2 - T \quad (15)$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j) \quad (16)$$

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

Se calcula $V_{t,T}$ para $1 \leq t \leq T$. El estadístico de la prueba es:

$$k(t) = \text{MAX}_{[1 \leq t \leq T]} |U_{t,T}| \quad (17)$$

El valor-P es calculado aproximadamente por:

$$\text{valor} - P \cong 2 \exp \left\{ -6(k(t))^2 / (T^3 + T^2) \right\} \quad (18)$$

Según Back (2001), los valores críticos de K pueden ser calculados por la ecuación:

$$K_{crit} = \pm \sqrt{\frac{-\ln(p/2)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (19)$$

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las series de precipitación en estudio (total anual, período seco y período húmedo) no presentaron autocorrelación significativa por la prueba de Wald-Wolfowitz, indicando que son series aleatorias simples; es decir, son series que pueden considerarse homogéneas (ver Cuadro). Sin embargo, Back (2001) concluye que esta prueba (el utilizó la prueba de Run) no es adecuada para identificar tendencias o cambios climáticos.

El análisis de regresión mostró una tendencia de aumento significativa (al 5%) de la PTA, en un orden de aproximadamente 4 mm por año. Cuando consideramos las series de los períodos seco y húmedo se observó que la tendencia de aumento es significativa sólo para el período húmedo (aproximadamente de 2,55 mm por año), según se observa (Figuras 1a, 2a, 3a).

Las pruebas de Spearman y de Mann-Kendall corroboran que existe una tendencia en las series, y estadísticamente significativa solo para el PTA y el período húmedo. Como los estadísticos ρ y τ son positivos, la tendencia se considera creciente.

Estos resultados muestran que para el caso de algunas localidades de Los Andes, es posible que la tendencia de la precipitación pluvial no sea de disminución, como lo señala Martelo (2004), en su proyección para el 2040, aún cuando este autor menciona que para el caso de Los Andes la situación es incierta.

CUADRO. Coeficiente angular de la regresión (a) y su intervalo de confianza y estadísticos: correlación serial (ρ), coeficiente Spearman (τ), coeficiente Mann-Kendall (τ_b) para la precipitación pluvial total anual, período seco y húmedo de Bramón, estado Táchira, Venezuela.

Época	Regresión	Int. Conf. a	Corr. Serial	Coef. Spearman	Coef. Kendall
P. Seco	1,442	(-0,07, 7,09)	0,878	1,763	1,778
P. Húmedo	2,553*	(0,21, 4,90)	1,949	2,221*	2,129*
Total Anual	3,995*	(0,90, 7,09)	1,44	2,207*	2,083*

* Significativo a $\alpha < 0,05$

La prueba secuencial de Mann-Kendall (Sneyers, 1990), mostró una tendencia creciente en las series de PTA, y en los periodos húmedo y seco. (Figuras 1b, 2b y 3b).

La prueba de Pettit, señaló un cambio brusco significativo en el año 1965 para la PTA (Figura 1c), y por la prueba de Mann-Kendall el cambio comenzó en el año 1967, tornándose la tendencia creciente significativa en los periodos 1983-1992 y 2004-2005 (Figura 1b).

Para el periodo seco, la prueba de Pettit resultó no significativa (Figura 2c) y según la prueba de Mann-Kendall, la tendencia creciente es significativa en periodos muy cortos: 1989-1992 y 1999-2001.

En cuanto al periodo húmedo, la prueba de Pettit localizó un cambio brusco en el año 1965 (Figura 3c), y la prueba de Mann-Kendall mostró que la tendencia creciente es significativa en los periodos 1983-1992 y 2004-2005 (Figura 3b).

De las Figuras 1, 2, y 3 se observa que la tendencia alterna de valores no significativos a significativos en periodos relativamente cortos, lo que indica que es una tendencia aleatoria (no determinística). Es decir, las series de precipitación pluvial en estudio pueden estar influenciadas por la variabilidad propia del elemento y de otros eventos climatológicos; entre ellos, se mencionan los fenómenos EL Niño y La Niña.

En ese sentido, Lozada (2002) encontró que en los años de ocurrencia del fenómeno El Niño la precipitación del periodo seco de Bramón es afectada negativamente, pero en los años del fenómeno La Niña el efecto es positivo sin ser estadísticamente significativo. Se observó que el periodo de tendencia significativa de 1989, coincide con un evento La Niña fuerte que inició en el año 1988, igualmente en el periodo 1999-2001 se presentó un evento La Niña. Esto refuerza la idea de que el cambio en la precipitación sea apenas una oscilación natural, no necesariamente asociada a cambios definitivos del patrón de precipitación de Bramón.

Según Aoyade (1996), citado por Back (2001), variaciones en periodos relativamente cortos (de 30 a 35 años), podrían considerarse propias de la variabilidad y no necesariamente asociadas a un cambio permanente en el patrón de precipitación de la región.

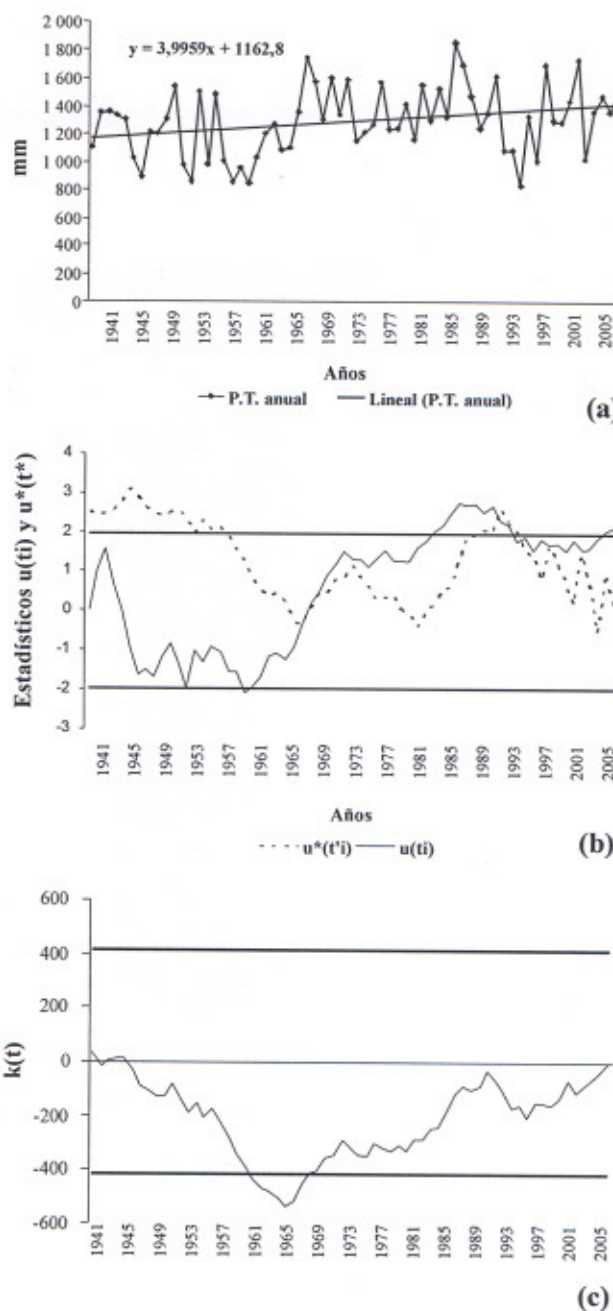


FIGURA 1. Precipitación total anual (PTA). (a) Regresión lineal, (b) estadísticos $u^*(t)$, de la prueba de Mann-Kendall, (c) Estadístico $k(t)$ de la prueba de Pettit. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza de 95%.

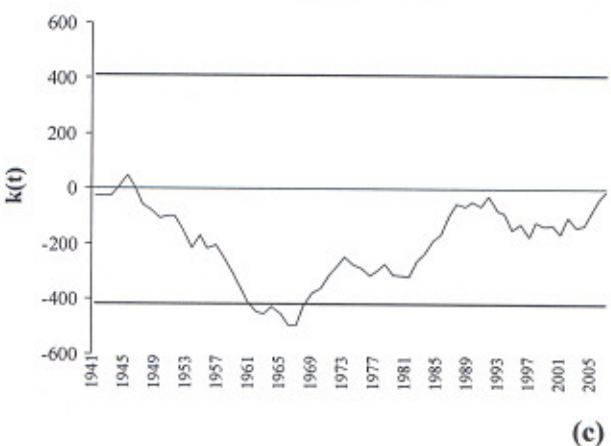
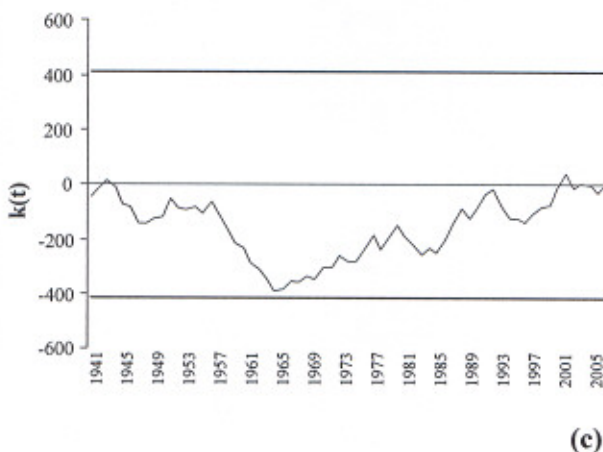
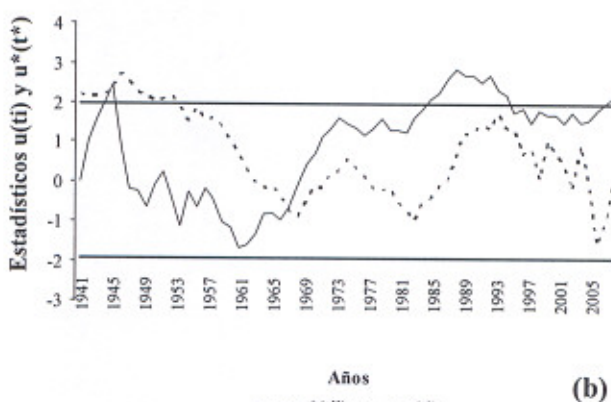
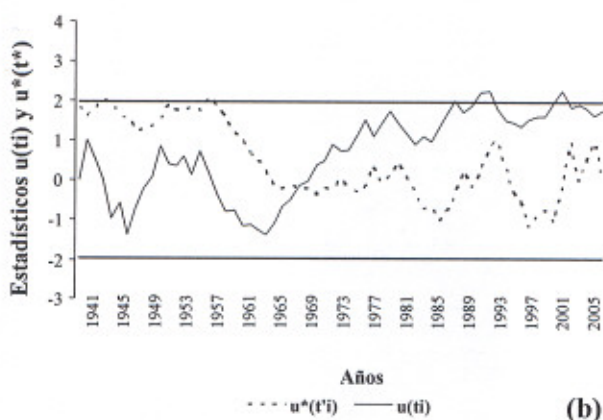
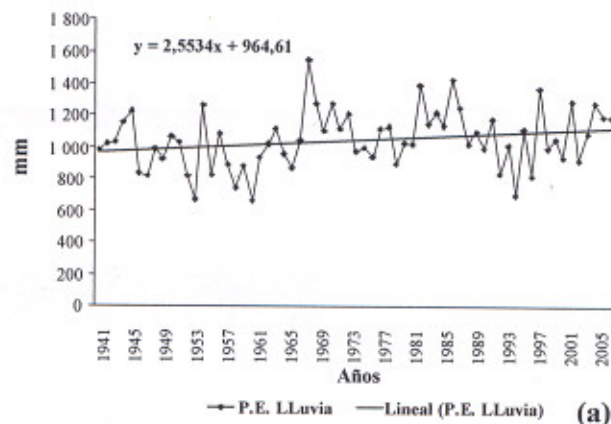
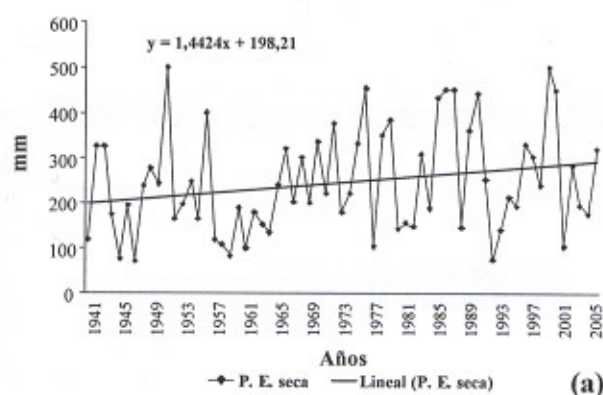


FIGURA 2. Precipitación época seca (P.E. seca). (a) Regresión lineal, (b) estadísticos $u^*(t_i)$, $u(t_i)$ de la prueba de Mann-Kendall, (c) Estadístico $k(t)$ de la prueba de Pettit. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza de 95%.

FIGURA 3. Precipitación época de lluvia (P.E. Lluvia). (a) regresión lineal, (b) estadísticos $u^*(t_i)$, $u(t_i)$, de la prueba de Mann-Kendall, (c) Estadístico $k(t)$ de la prueba de Pettit. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza de 95%.

El incremento de la precipitación pluvial durante el período seco podría generar efectos diversos sobre la actividad agrícola de la región, afectar el desarrollo de cultivos como el café que requieren de un período seco para entrar en reposo o favorecer la incidencia o severidad de enfermedades en cultivos hortícolas. Para el caso del período húmedo, podría traer consecuencias positivas dependiendo de su distribución y características, y negativas relacionadas con la mayor incidencia de enfermedades, caída de flores, reducción o pérdidas en las cosechas por retraso en la salida de las lluvias.

CONCLUSIONES

- Se identificó una tendencia creciente estadísticamente significativa ($\alpha = 0,05$) de la PTA, y período húmedo en el lapso bajo estudio.
- Se localizó un cambio brusco significativo ($\alpha = 0,05$) en la precipitación total y período húmedo en el año 1965.
- La tendencia identificada es aleatoria (no determinística)

BIBLIOGRAFÍA

- Córdova S., K. 2003. Impacto socio-ambiental de la variabilidad climática. Las Sequías en Venezuela. Acceso en: <http://clima.ecoportal.net/content/view/full/21539>
- Back, A. J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendencia climática. Pesq. Agropec. Bras., 36(5):717-726.
- Lozada, B. I. 2002. Estudios de influencia de los fenómenos EL NIÑO y LA NIÑA en la precipitación de la región centro-occidental de Venezuela, Rev. Brasileira de Agrometeorología, 10(2):317-322.
- Martelo, T. 2004. Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela. **In:** Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela., Caracas, MARN.

Massmann, V., A. Castro y L. Sánchez, 2004. Análisis de la tendencia de las precipitaciones en los meses de febrero, marzo y abril en el territorio peninsular de España. **In:** XXVIII Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. Universidad de Extremadura, Badajoz, 11 al 13 /02 / 2004. Acceso en: <http://www.ameweb.org/JORNADAS/masssman.pdf>.

Pellegrino, G. 2001. Análise espaço-temporal de componentes hidroclimáticos na bacia do rio Piracicaba, SP. Rev. Bras. Agrometeorologia, 9(1):125-135

Pettit A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist., 28(2):126-135.

Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis de series de observations. Geneva. WMO. 192 p. Note technical N° 143.