

## El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones

Oscar Brown Manrique e-mail: [obrown@ingenieria.unica.cu](mailto:obrown@ingenieria.unica.cu).  
Profesor Titular. Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH).  
Universidad de Ciego de Ávila (UNICA). Cuba.

Yurisbel Gallardo Ballat e-mail: [yurisbelgb@ingenieria.unica.cu](mailto:yurisbelgb@ingenieria.unica.cu)  
Profesor Auxiliar. Departamento de Ingeniería Hidráulica.  
Universidad de Ciego de Ávila (UNICA). Cuba.

Amaury Correa Santana e-mail: [amaury@ingenieria.unica.cu](mailto:amaury@ingenieria.unica.cu).  
Estudiante de quinto año. Carrera de Ingeniería Hidráulica.  
Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Cuba.

Sergio Barrios García e-mail: [sergio@ca.hidro.cu](mailto:sergio@ca.hidro.cu)  
Delegado Provincial de Recursos Hidráulicos.  
Provincia Ciego de Ávila, Cuba.

### RESUMEN

La investigación se desarrolló en la localidad de Falla, provincia Ciego de Ávila. Se analizó una serie de 30 años de precipitaciones y número de días con lluvia desde 1977 al 2006. Se aplicaron métodos de análisis de la serie temporal como porcentaje medio, promedios móviles y suavización exponencial. Se comprobó que la función Normal fue la más apropiada para ajustar los datos experimentales y se construyó el climograma de la localidad. Se determinaron las evidencias de cambio climático mediante anomalías climáticas, patrones de desplazamiento y la curva acumulada de las variables estudiadas. Los resultados demuestran una tendencia a la disminución de las precipitaciones y el número de días con lluvia a partir del año 2000, no solo a nivel anual sino también en el periodo húmedo.

**Palabras clave:** anomalías climáticas, curva acumulada, climograma, patrones de desplazamiento, series cronológicas.

## Climatic change and its evidence in precipitation

### ABSTRACT

The research was conducted in Falla town, Ciego de Avila province. A series of 30 years of rainfall and number of rainy days was analyzed from 1977 to 2006. Methods of analysis of the time series as the mean percentage, moving averages and exponential smoothing were applied. It was proven that the Normal function was the most appropriate to adjust the experimental data and the climogram for this location was developed. Evidence of climatic change was determined by climate anomalies, movement patterns and cumulative curve of the studied variables. The main results show a trend of decreasing rainfall and number of rainy days from 2000 on, not only on an annual basis but also in the wet period.

**Keywords:** climate anomalies, cumulative curve, climogram, movement patterns, time series.

## INTRODUCCIÓN

El clima constituye uno de los recursos naturales más apreciados de la Tierra pues posee la propiedad de restablecer constantemente el calor, la humedad, la radiación solar, el viento y otros elementos climáticos. Es, además, un recurso básico del que dependen todos los demás, por lo que cualquier cambio en el mismo repercute sobre la naturaleza y la sociedad (IPCC 2007). Para estudiar el clima se pueden utilizar diversas herramientas como el climograma que es un diagrama de doble entrada, conocido también como diagrama ombrotérmico, en el que en una de ellas se representan las temperaturas medias y en el otro las precipitaciones medias, ambas referidas a una escala de tiempo mensual (Camarasa 2009).

El cambio climático está referido a la alteración del clima con respecto al historial climático mundial o regional e involucra a diversos parámetros meteorológicos como temperatura, precipitaciones, presión atmosférica, nubosidad, aumento en el nivel del mar y variaciones en la ocurrencia de eventos extremos del clima como sequías, inundaciones y tormentas tropicales. El cambio climático se debe tanto a causas naturales como antropogénicas (Oreskes 2004), sin embargo, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término "cambio climático" solo para referirse al cambio por causas humanas.

El cambio climático es el resultado de los desequilibrios energéticos, ecológicos y sociales provocados por los avances tecnológicos de la actualidad, el excesivo crecimiento poblacional y el desarrollo industrial caracterizado por el uso de combustibles fósiles en el consumo de energía (Pichs 2008), provocando un severo calentamiento global que repercute directamente en la disponibilidad de recursos hídricos como en el caso de las precipitaciones.

El aumento global de la concentración de CO<sub>2</sub> se debe fundamentalmente al uso de combustibles fósiles, la deforestación (Nohara et al. 2006) y a los cambios del uso del suelo, mientras que el incremento del metano y óxido nitroso se deben principalmente a la agricultura (IPCC 2007). De continuar el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero se produciría un calentamiento adicional durante el siglo XXI, lo cual representaría un problema muy grave en los ecosistemas mundiales pues el incremento de 1°C en la temperatura global ocasionaría escasez de agua que afectaría entre 400 y 1700 millones de personas.

Entre los impactos climáticos que ocurren en la actualidad están el decrecimiento del agua disponible en la mayoría de las regiones de latitudes medias y en el trópico seco, que ya sufren de déficit hídrico, es por ello que es necesaria la implementación de estrategias de mitigación para reducir los impactos del cambio climático (IPCC 2007).

Cuba cuenta con una estrategia para la adaptación al cambio climático sustentada en los sistemas de observación del sistema climático, la educación de la población y la comprensión del problema por parte de los actores a los diferentes niveles (Gutiérrez et al. 2000). Para contribuir al enriquecimiento de esta estrategia a escala local el presente trabajo tiene como objetivo determinar las evidencias de cambio climático y sus efectos sobre la disponibilidad de agua proveniente de las precipitaciones en el poblado de Fallas de la provincia Ciego de Ávila que contribuya a la toma de decisiones para su conservación y uso racional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la localidad de Falla, que es un poblado perteneciente al municipio de Chambas. Se encuentra situado al norte de la provincia de Ciego de Ávila a una distancia aproximada de 37,8 km de la capital provincial. Su ubicación geográfica es de 22° latitud Norte y 78° longitud Oeste con un desarrollo económico sustentado mayoritariamente en

la agricultura. En la investigación se analizó una serie de 30 años de precipitaciones y número de días con lluvia en el periodo comprendido desde 1977 a 2006. Los datos fueron obtenidos de forma sistemática en el equipo pluviométrico CA-347 de la estación Camilo Cienfuegos que presenta una latitud Norte de 22° 09' y longitud Oeste de 78° 45' con una altura de 15,82 m sobre el nivel medio del mar. Se aplicó la técnica de estadística descriptiva para analizar los estadígrafos fundamentales de la serie de datos con la utilización del Microsoft Office Excel 2007.

Antes de la utilización de los datos en la investigación, se realizó un análisis de consistencia de las series mediante las técnicas estadísticas de la media aritmética y la desviación estándar que consistió en probar mediante las pruebas de  $t$  y  $F$ , si los valores de estos estadígrafos difieren estadísticamente en las submuestras consideradas (Villón 2001). También se determinó la variabilidad interanual y estacional de la serie mediante la construcción de un gráfico de dispersión con la herramienta de Microsoft Office Excel 2007.

Se realizó un análisis de la serie temporal (Peña et al. 2005) para las variables precipitaciones y número de días con lluvia con el propósito de estimar los movimientos estacionales mediante el índice estacional ( $IE$ ) sugerido por Guerra (1982). El índice estacional medio del año ha de ser 100% y representa la suma de los números índice de los 12 meses con un valor de 1200%. En caso contrario, debe corregirse multiplicando por el factor de ajuste ( $F_{adj}$ ), lo que indica la necesidad de pasar al proceso de desestacionalización de los datos para eliminar el movimiento estacional, mediante la división de los datos originales entre el índice estacional. El índice estacional se calculó como:

$$X_{anual} = \frac{\sum X_{men}}{N_{mes}} \quad (1)$$

$$K_{men} = \frac{X_{men}}{X_{anual}} 100 \quad (2)$$

$$X_{men} = \frac{\sum K_{men_i}}{N_{años}} \quad (3)$$

$$F_{ajust} = \frac{1200}{\sum X_{men_i}} \quad (4)$$

$$IE = X_{men_i} \cdot F_{adj} \quad (5)$$

$$X_{desest} = \frac{X_{men}}{IE} 100 \quad (6)$$

donde:  $X_{men}$  es el dato correspondiente a cada mes de la serie;  $N_{mes}$  el número de meses analizados;  $N_{años}$  el número de años analizados;  $X_{anual}$  la media anual;  $X_{men}$  la media de cada mes;  $F_{ajust}$  el factor de ajuste trimestral;  $IE$  el índice estacional;  $X_{desest}$  el dato correspondiente a la serie desestacionalizada.

Se aplicaron métodos de suavización y pronóstico para eliminar la estacionalidad de las series cronológicas, expresadas en fluctuaciones aleatorias, los cuales proporcionan datos menos distorsionados en relación con el comportamiento real de la misma (Toledo 2010). Se emplearon los métodos de los promedios móviles y la suavización exponencial (Díaz et al. 2009).

Los promedios móviles o media móvil calculada fue del orden tres (longitud de tres periodos) por ser una de la más utilizadas en serie cronológicas. Esta se escribe de la forma siguiente:

$$y_{sim} = \frac{y_i + y_{i+1} + y_{i+2}}{3} \quad (7)$$

donde:  $y_i$ : valor de las variables climáticas analizadas (precipitaciones anuales y número de días con lluvia).

La suavización exponencial contiene un mecanismo de autocorrección que ajusta los pronósticos en dirección opuesta a los errores pasados, por lo que las ponderaciones disminuyen exponencialmente. Se emplearon las siguientes fórmulas (8) y (9).

$$y_{sim(i+1)} = \alpha \cdot y_{obs(i-1)} + (1 - \alpha)y_{sim(i-1)} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{y_{sim(i+1)} - y_{sim(i)}}{y_{obs(i)} - y_{sim(i)}} \quad (9)$$

donde:  $Y_{sim(i+1)}$ : Valor pronosticado de las variables analizadas para cualquier período futuro;  $\alpha$  la constante de suavización que oscila entre 0 y 1;  $Y_{obs}$  el valor real de las variables analizadas para el período de tiempo analizado;  $Y_{sim}$  el valor pronosticado previamente de las variables analizadas para el período de tiempo estudiado.

Los datos de precipitación y números de días con lluvia se ajustaron a seis distribuciones teóricas de probabilidad: Normal, Log-Normal, Gamma, Log-Pearson, Gumbel y Log-Gumbel, para ello se utilizó el procedimiento de estimación de máxima verosimilitud a través del paquete de programas informáticos SAMS (Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation), el cual comprueba la normalidad de los datos y las características estocásticas de las series de tiempo anuales y estacionales de los recursos hídricos según las características de estas series. Para la validación del ajuste de la función teórica se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (García et al. 2010).

Se construyó el climograma del municipio Falla por ser una herramienta de gran utilidad para estudiar el clima de la zona y que permite mostrar de forma sintética la variación de los promedios mensuales de temperatura y precipitación a lo largo de un año (Gentile 2005), revelando la existencia de períodos seco o lluvioso, que se comprobaron mediante el [índice de Gaussen](#) a partir del índice de aridez ( $IA$ ) que representa el duplo de la temperatura en °C.

La mayoría de los climogramas usan el índice de aridez, el cual considera que hay aridez cuando la media de las temperaturas es mayor que el doble de la media de las precipitaciones. De esta manera los climogramas suelen tener la siguiente estructura: un eje de abscisas donde se encuentran los meses del año, un eje de ordenadas a la izquierda, donde se coloca la escala de las temperaturas y un eje de ordenadas a la derecha con la escala de las precipitaciones (esta es el doble respecto a las temperaturas) con el propósito de mostrar directamente si hay aridez cuando los valores de las precipitaciones quedan por debajo de los de las temperaturas. Según Camarasa (2009) el índice de aridez se calcula con la expresión (10).

$$IA = 2T \quad (10)$$

donde:  $IA$  es el índice de aridez;  $T$  la temperatura media mensual (°C).

El cambio climático según Arrastía y Limia (2011) está asociado con las variaciones de las estadísticas climatológicas de un periodo determinado con respecto a la estadística de largo plazo. Para la estimación de evidencias de cambios climáticos se emplearon tres criterios: anomalías climáticas, patrones de desplazamiento y precipitación acumulada (INAMHI 2008). Las anomalías climáticas expresan desviaciones del comportamiento de la variable climática analizada

respecto al promedio hiperanual de una serie igual o superior a 30 años. Se utilizó la siguiente ecuación (11).

$$A_X = X_i - X_m \quad (11)$$

donde:  $A_X$  es la anomalía climática para la variable  $X$  en estudio;  $X_i$  el valor de la variable para el año  $i$ ;  $X_m$  la media aritmética hiperanual de la serie de datos.

Los patrones de desplazamiento expresan las desviaciones de los valores promedio mensuales de las variables climáticas analizadas para un determinado periodo con respecto a los valores promedio mensuales para un periodo largo de tiempo considerando como norma los 30 años de la serie. Se representaron mediante dos curvas de dispersión construidas mediante la herramienta Microsoft Office Excel 2007 y la divergencia respecto a la curva normal indicó la existencia de un cambio climático.

La precipitación acumulada se obtuvo a partir de la suma acumulativa de los valores promedio mensuales de las variables climáticas analizadas para un periodo de tiempo dado, respecto a la suma acumulativa de los valores promedios mensuales de la misma variable climática para un periodo largo de tiempo considerado como norma. Se representó también mediante dos curvas de dispersión construidas mediante la herramienta Microsoft Office Excel 2007 y la divergencia respecto a la curva normal mostró la existencia de un cambio climático. En la investigación los tres criterios antes mencionados se analizaron para los últimos 5, 10 y 15 años de la serie.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la investigación se comprobó que las series estudiadas fueron consistentes y homogéneas, al encontrarse que el estadístico  $t$  fue de 0,98 y 0,14 para las precipitaciones anuales y número de días con lluvia respectivamente, muy inferior al valor crítico de  $t$  que resultó ser 1,97 y 1,65 en ambas variables. Similar comportamiento se encontró para el estadístico  $F$  que alcanzó valores de 0,76 y 1,03. Estos, al compararse con el valor crítico de  $F$  (0,93 y 1,28) también resultaron ser menores.

En las tablas 1 y 2 se exponen los resultados del análisis estadístico realizado con la técnica de estadística descriptiva en las que puede observarse que los valores promedio de lluvias mensuales oscilan entre 30,54 y 208,77 mm con mínimos de 0,5 mm en el mes de febrero y máximos de 535,4 y 513,0 mm en los meses de mayo y junio respectivamente.

**Tabla 1. Estadística descriptiva de las precipitaciones (mm)**

Estadígrafo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Media	30,5	44,1	60,3	68,1	185,6	208,8	118,9	154,1	172,1	155,8	86,8	54,7
Mediana	26,8	23,9	36,9	56,6	149,3	189,7	108,4	155,6	142,9	136,9	67,2	42,4
Desv. típica	28,1	50,2	55,5	61,6	133,4	116,1	48,7	76,0	94,7	94,3	61,8	72,6
Mínimo	1,6	0,5	1,2	0,9	2,704	38,1	31,1	51,8	42,1	41,3	15,2	1,8
Máximo	125,8	252,3	194,3	245,4	535,4	513,6	232,8	438,5	434,6	396,4	279,2	409,1

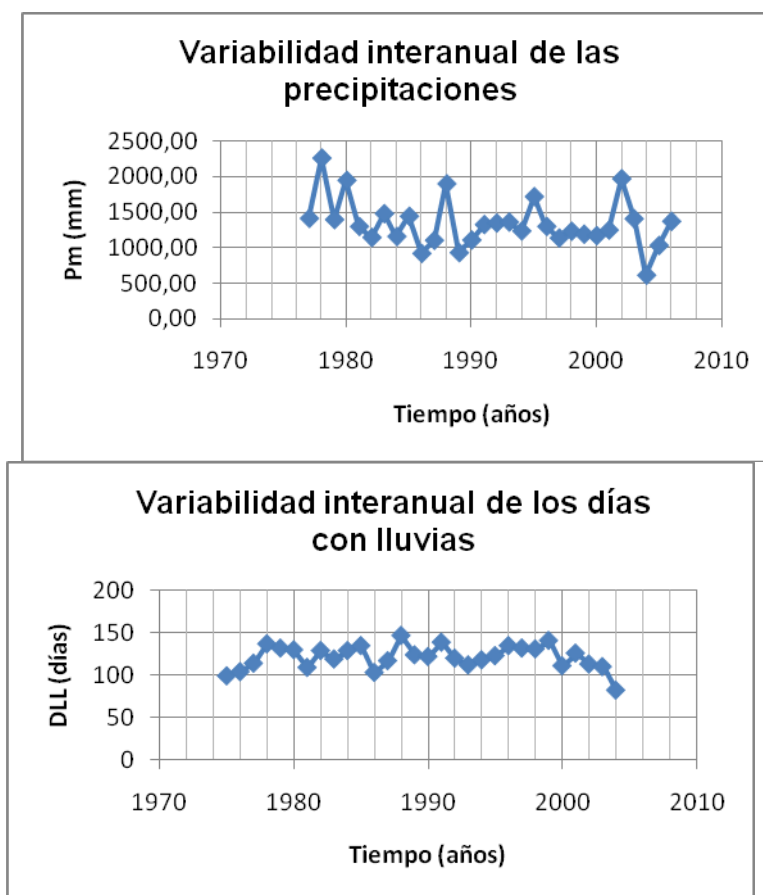
En cuanto al análisis estadístico de los días con lluvia se encontró que los valores promedio de esta variable varían entre 6 y 15 días de lluvia en el mes. Los valores extremos se observaron en el mes de enero hasta abril con valores mínimos comprendidos entre 1 y 2 días con lluvia

mientras que los valores máximos oscilan entre 16 y 23 días con lluvia en el periodo de mayo a diciembre.

**Tabla 2. Estadística descriptiva del número de días de lluvia**

Estadígrafo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Media	6	6	6	6	12	13	11	14	15	14	11	7
Mediana	6	5,5	6	5,5	11,5	13	11	13,5	14,5	15	11	7
Moda	6	7	6	1	9	19	11	14	14	16	12	7
Desviación típica	2,49	2,31	2,79	3,36	3,78	5,08	3,09	3,55	3,15	4,05	3,48	3,04
Mínimo	2	1	1	1	4	5	3	5	9	6	4	2
Máximo	12	13	11	12	20	22	16	21	23	23	18	17

En la figura 1 se presenta la variación interanual de las precipitaciones, la cual demuestra que el 73% de las precipitaciones está comprendido entre 1000 y 1500 mm y el 17% supera ese valor, destacándose el año 1978 con un valor de 2256,4 mm que resultó ser el año más lluvioso de la serie. Por debajo del intervalo se encontró un 3% debiéndose resaltar el año 2004 con un valor mínimo de 500 mm lo que puede relacionarse con un año muy seco. En la propia figura se observa que los días con lluvia están comprendidos entre 100 a 140 días en el año para un 93% del total de datos analizados; solo el año 1988 rebasa ligeramente este intervalo y el 2004 que manifiesta un comportamiento inferior con 80 días de lluvia en el año.



**Figura 1. Variabilidad interanual de precipitaciones y número de días con lluvia**

En la figura 2 se expone la variación estacional de las precipitaciones en una escala de tiempo mensual. Se observa que todos los meses del periodo seco presentan valores inferiores a 50 mm. En el entorno de 50 a 150 mm se incluyen los meses de mayo, julio, octubre y noviembre. Por encima de 150 mm aparecen los tres meses más lluviosos del año junio, agosto y septiembre.

La propia figura muestra la variabilidad estacional de los días con lluvia, donde el 50 % de los meses está comprendido entre 6 y 14 días con lluvia en el mes. Por debajo de ese entorno se encuentra el 33 % de los meses que corresponde desde enero hasta abril con 6 días de lluvia en el mes. Por encima aparecen los meses de septiembre y octubre con valores superiores a 14 días de lluvia en el mes para un 17 %.

En la figura 3 se establece una comparación entre las precipitaciones correspondientes a los periodos húmedo y seco. Se comprueba que en ambos periodos ocurre una reducción notable en la magnitud de las precipitaciones en el 70 % de las series con algunos picos de precipitaciones elevadas en los años 1988 y 2002 con valores superiores a 1600 mm en el periodo húmedo. Ocurre una reducción del número de lluvias mensuales en los últimos 5 años del periodo analizado

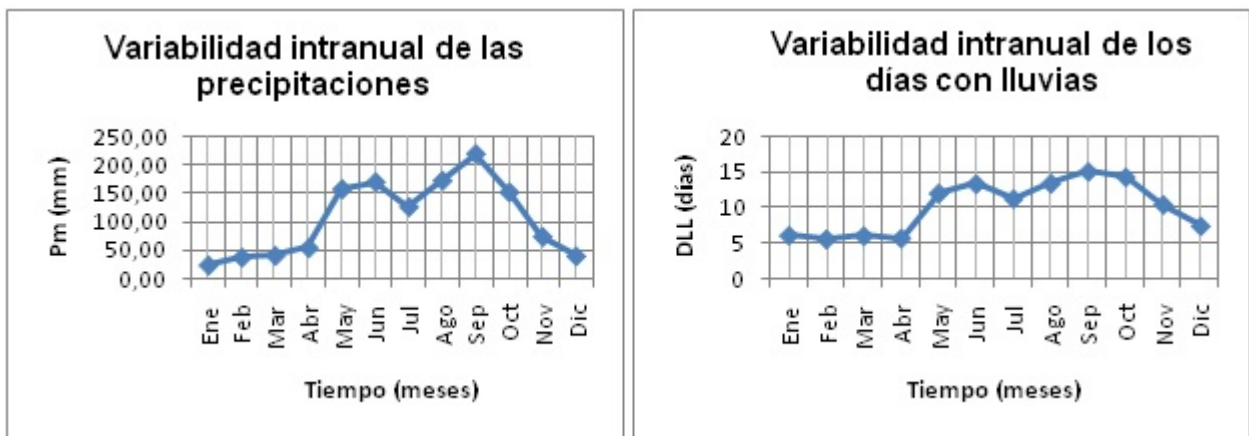


Figura 2. Variabilidad estacional de precipitaciones y número de días con lluvia

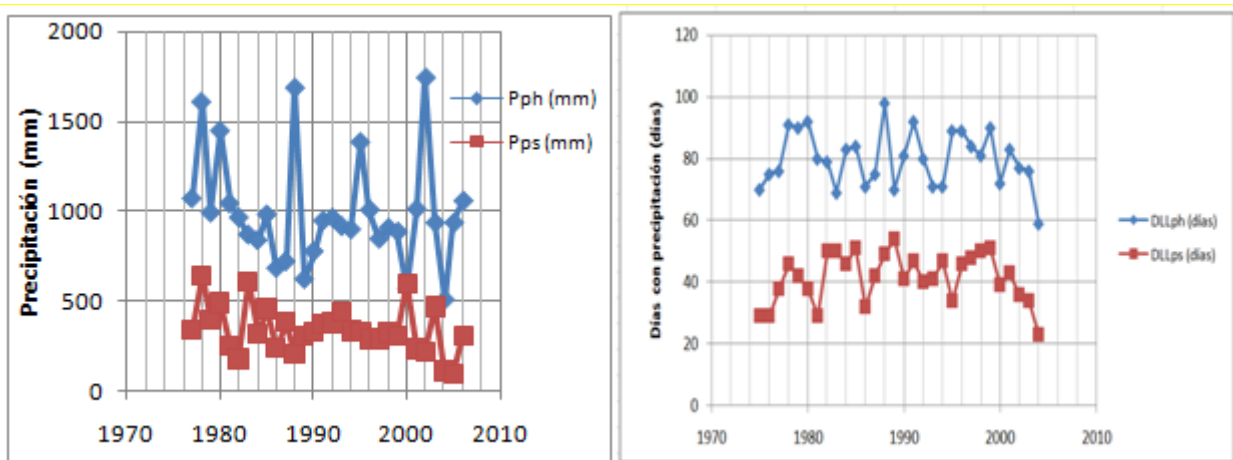
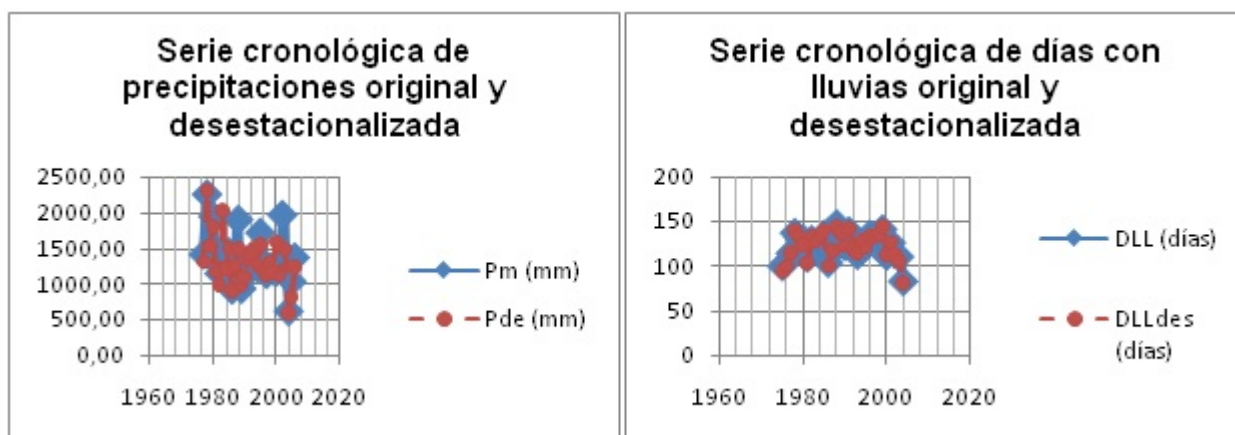


Figura 3. Variabilidad interanual de precipitaciones y número de días con lluvia en los periodos seco (DLLps) y húmedo (DLLph)

El análisis de la serie temporal de precipitaciones y número de días con lluvia demostró que en ambos casos el factor de ajuste de la serie es igual a la unidad (figura 4), por lo que el Índice de estacionalidad (*IE*) es muy similar a los valores promedio hiperanuales de cada uno de los meses del año. Este resultado indica que no es necesario desestacionalizar las series de datos, pudiéndose trabajar con los datos originales.

El método de los promedios móviles y el de la suavización exponencial permitieron eliminar de manera aceptable los movimientos estacionales de las series cronológicas analizadas. Este último se logró mediante una constante de suavización ( $\alpha$ ) con valores de 0,42 y 0,46 para las precipitaciones anuales y los días con lluvia respectivamente.



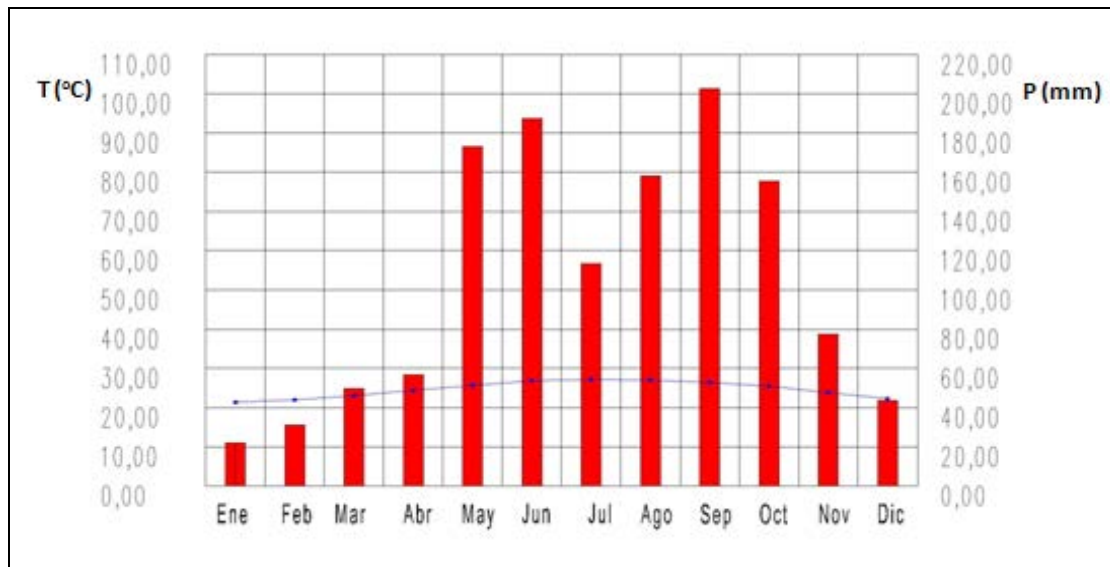
**Figura 4. Series de precipitación y número de días con lluvia desestacionalizadas**

La figura 5 representa el climograma de la localidad de Falla en la provincia de Ciego de Ávila en el que se observa la presencia de dos periodos bien definidos: el periodo seco comprendido desde noviembre hasta abril con valores de precipitaciones que oscilan entre 20 y 80 mm y los restantes meses presentan valores de precipitaciones que oscilan entre 120 y 200 mm formando el periodo húmedo donde se destacan los meses de mayo, junio y septiembre.

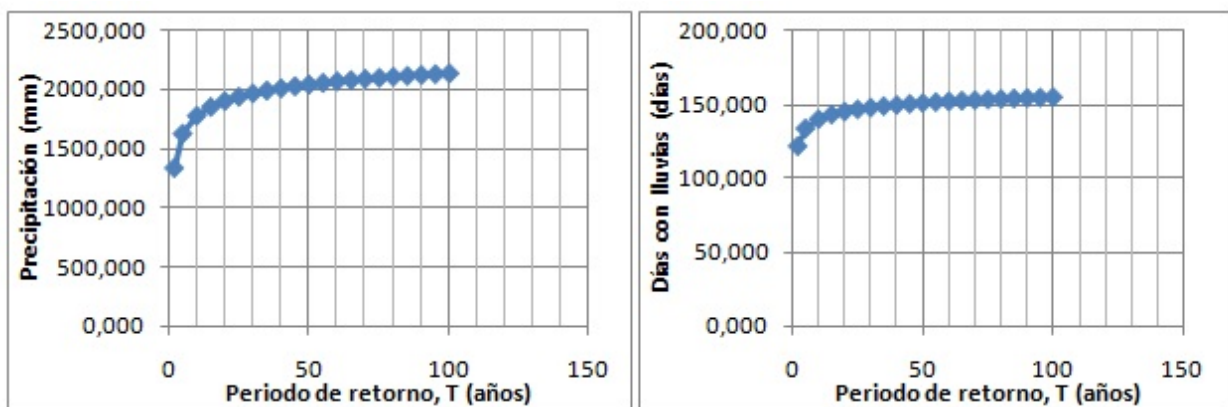
El análisis de la temperatura permite conocer que la oscilación térmica anual fue de 5,86 °C como resultado de la diferencia de temperatura entre los extremos. El mes más cálido resultó ser julio con 27,21 °C de temperatura promedio; pero se tienen valores máximos promedio de 32,88 °C para el mes de agosto. El más frío correspondió a enero con una temperatura promedio de 21,36 °C; no obstante, la temperatura mínima promedio de la localidad es de 16,53 °C para ese mismo mes. El índice de Gausson con el que se determinó el Índice de Aridez demostró que los meses de diciembre, enero y febrero presentaron la categoría de seco. Los meses restantes obtuvieron la categoría de lluviosos.

La función de distribución de mejor ajuste fue la normal, que logró una aproximación significativa para los datos correspondientes a las series de precipitaciones y número anual de días con lluvia, demostrada mediante el estadígrafo de Kolmogorov-Smirnov el cual alcanzó valores de 0,156 y 0,09 respectivamente, inferiores al valor crítico de 0,248 para un nivel de confianza del 95 %. Este resultado permitió pronosticar los valores de las variables estudiadas para diferentes periodos de retorno como se muestra en la figura 6.





**Figura 5. Climograma de la localidad de Falla**



**Figura 6. Valores de precipitaciones anuales y números de días con lluvia anuales en función del periodo de retorno**

En la figura 7 es notorio resaltar, según el propósito de la investigación, la ocurrencia de anomalías climáticas negativas en las variables precipitaciones anuales y número anual de días con lluvia durante el periodo de tiempo analizado. En cuanto a las precipitaciones anuales se observa la existencia de anomalías negativas en el 54% de los años, las cuales se encuentran por debajo del valor promedio hiperanual. Es significativo indicar que a partir del año 1980 el peso de las anomalías negativas se hace mucho más severo al obtenerse valores relativos del 65%. El comportamiento de las anomalías negativas en el número de días con lluvia fue ligeramente mejor en relación con las precipitaciones anuales al encontrarse un 47% de años con valores de número de días con lluvia inferior a la norma.

En la figura 8 se observa que no hay cambios notables en los patrones de precipitación con respecto a su valor normal correspondiente para los últimos 10 y 15 años; no obstante, en la figura 9 (últimos 5 años) se comprobó la ocurrencia de cambios climáticos en 6 meses del año

(50%) en los meses de mayo, agosto, septiembre, noviembre, diciembre y enero. Se destacan mayo y septiembre con una disminución de 54,86 y 87,39 mm.

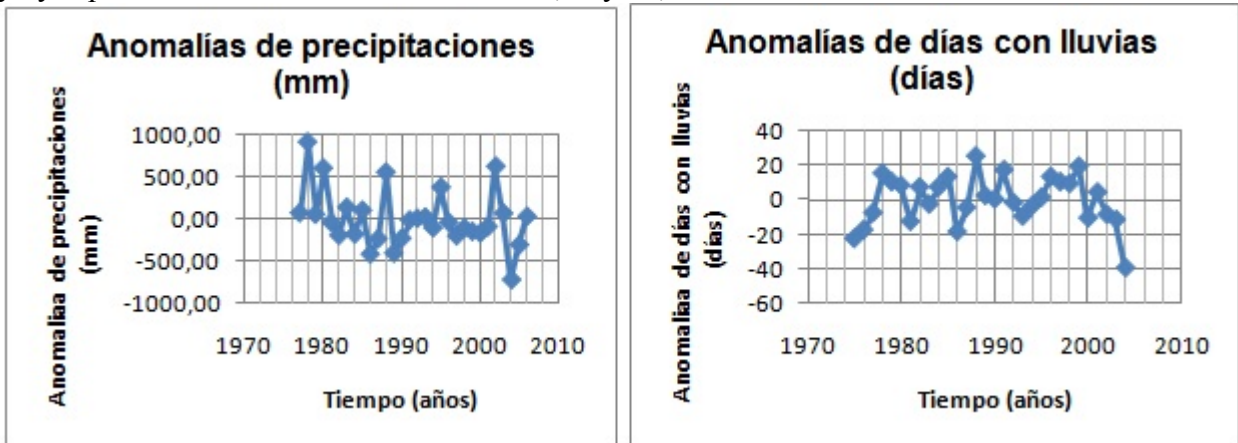


Figura 7. Anomalías de precipitaciones y número de días con lluvia

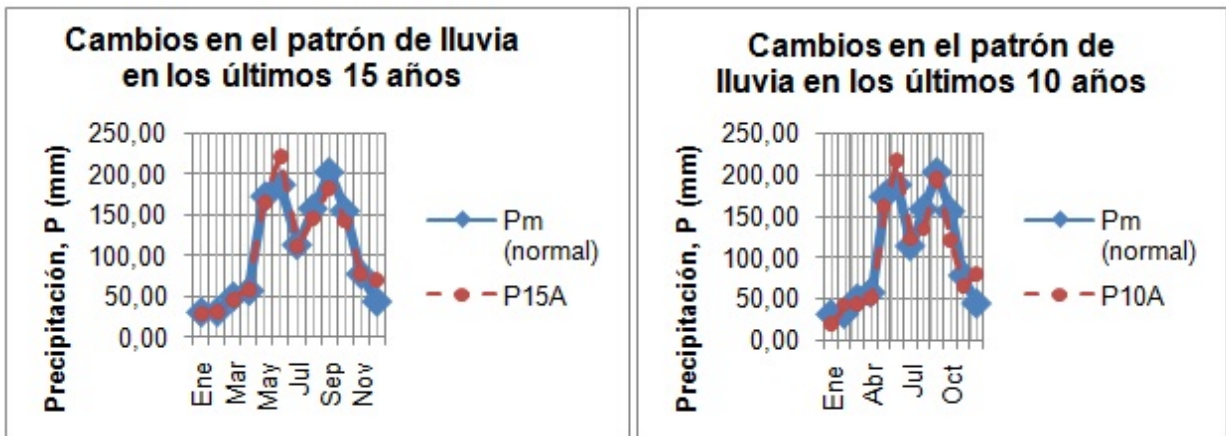


Figura 8. Cambio de los patrones de lluvia últimos 15 y 10 años

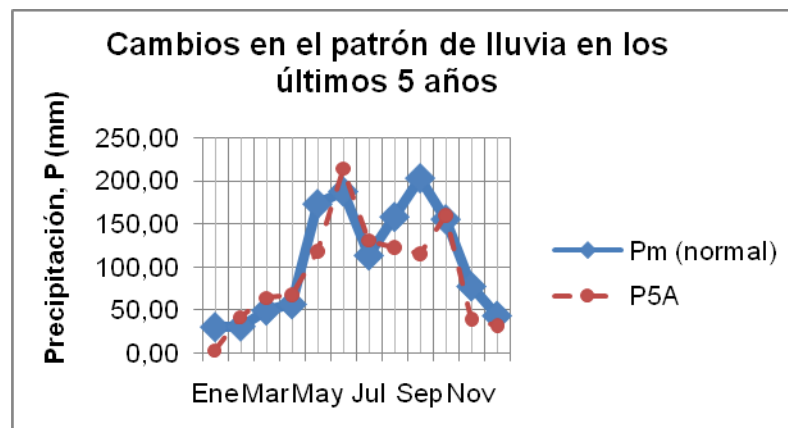


Figura 9. Cambio de los patrones de lluvia en los últimos 5 años

En el caso del número de días con lluvia tampoco se encontraron diferencias entre los últimos diez y quince años (figura 10); pero se demostró una disminución con respecto a los últimos cinco años en dos días de lluvia para los meses de enero, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre y tres días para el mes de junio (figura 11).

La precipitación acumulada no mostró diferencias en los últimos 10 y 15 años (figura 12); sin embargo, en los últimos cinco años se demostró una disminución de la curva sumaria con valores que pueden llegar hasta 171,25 mm (figura 13). Este criterio demostró la existencia de cambios climáticos en ambas variables.

El número de días con lluvia acumulados no varió prácticamente en los últimos 10 y 15 años (figura 14); sin embargo, en los últimos cinco años (figura 15) la curva acumulativa disminuyó en todos los meses del año hasta alcanzar un acumulado total de 14 días menos con lluvia, demostrándose la existencia de cambios climáticos. Este resultado concuerda con lo expresado por el IPCC (2007) en relación con que una de las consecuencias del cambio climático es una notable variabilidad de las precipitaciones.

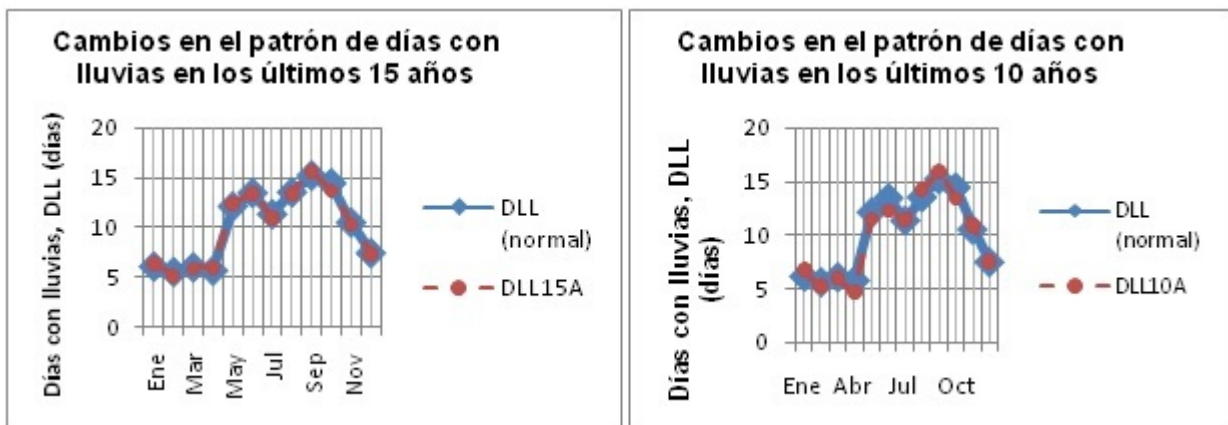


Figura 10. Cambio de los patrones de días de lluvia en los últimos 15 y 10 años

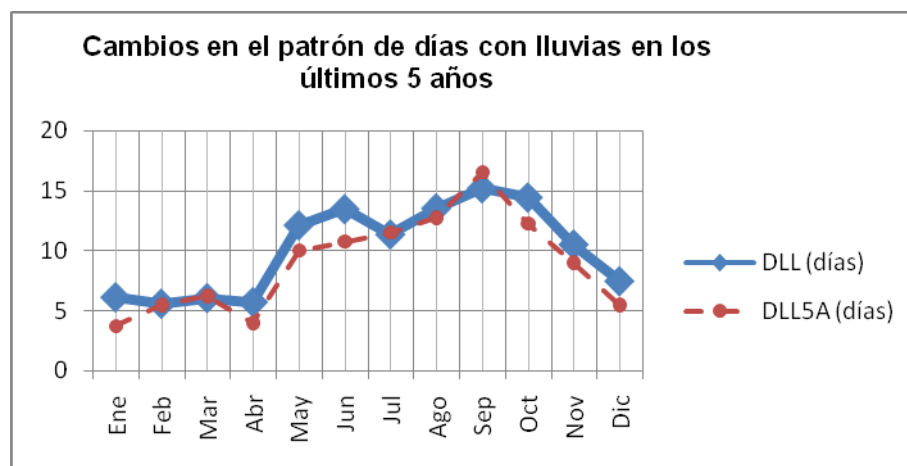


Figura 11. Cambio de los patrones de días de lluvia en los últimos 5 años

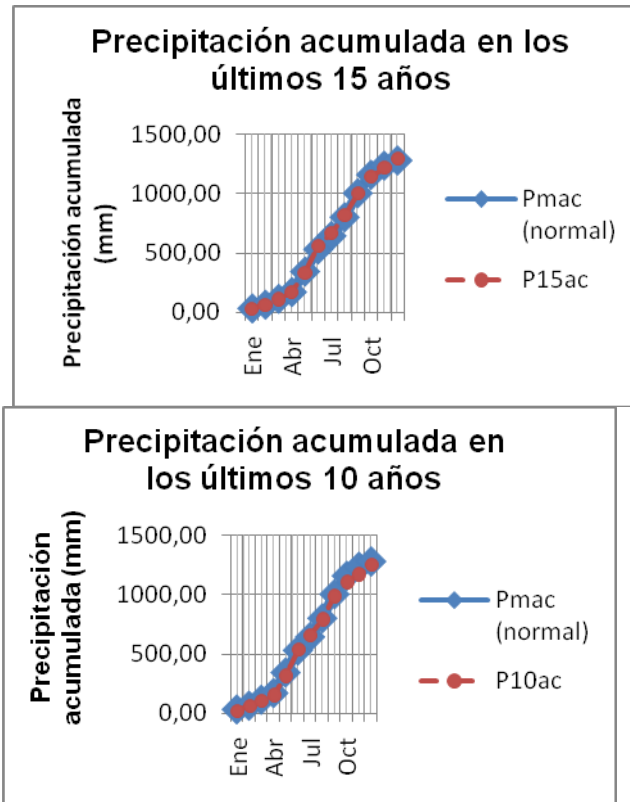


Figura 12. Precipitación acumulada en los últimos 15 y 10 años

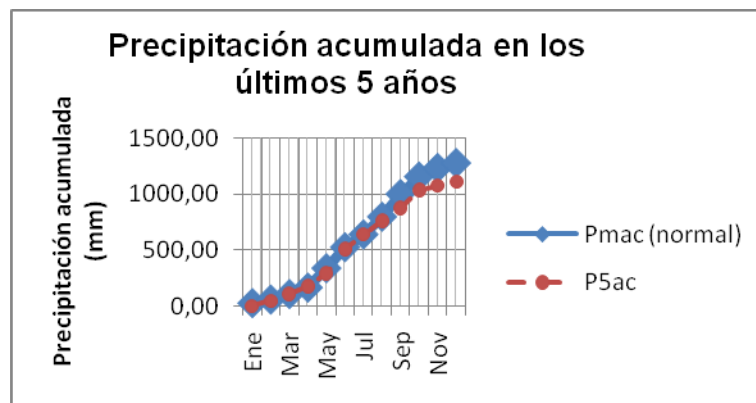


Figura 13. Precipitación acumulada en los últimos 5 años

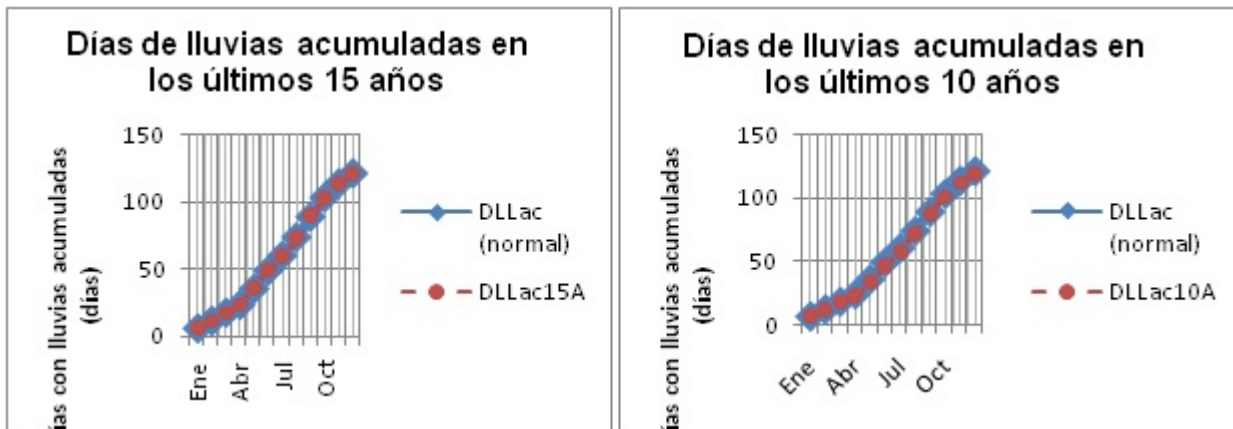


Figura 14. Días con lluvias acumuladas en los últimos 15 y 10 años

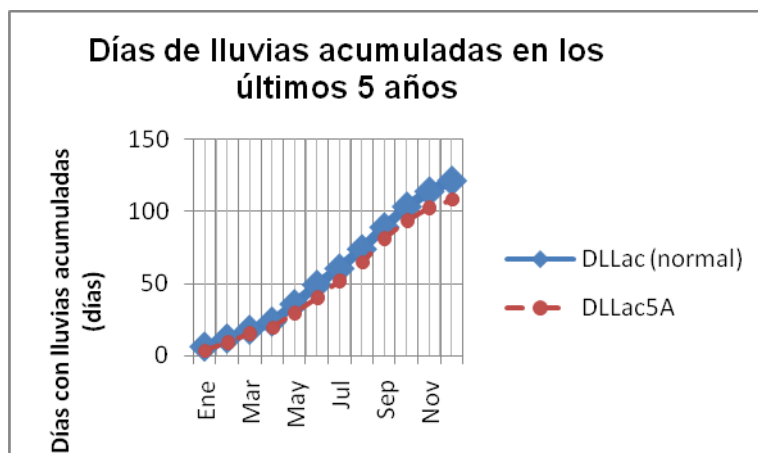


Figura 15. Días con lluvias acumuladas en los últimos 5 años

## CONCLUSIONES

- El análisis de series cronológicas para los datos de precipitaciones y número de días con lluvia mediante las técnicas estadísticas de la media aritmética y la desviación estándar a través de las pruebas de  $t$  y  $F$ ; así como la media móvil y suavización exponencial demostró la existencia de series homogéneas y consistentes.
- La caracterización climática de las variables estudiadas ofreció valores promedio anuales de 1240 mm de precipitación y 11 días con lluvia; pero con una tendencia a la disminución a partir del año 2000. Este comportamiento fue similar en los periodos húmedos y secos, lo que demuestra una disminución de los recursos hídricos potenciales con la consecuente afectación de los escurrimientos superficiales y subterráneos.
- Las series estudiadas responden satisfactoriamente a la función normal (N) que se demuestra con valores de delta inferiores a 0,16.
- El climograma construido para la localidad de Falla indica que sólo los meses de enero, febrero y diciembre son considerados secos según el índice de Gausson.

- Las anomalías, el cambio del patrón y la curva acumulada para las precipitaciones y el número de días con lluvias demostraron la evidencia de cambio climático a partir del año 2000.

## REFERENCIAS

- Arrastía M. A. y Limia M. E.** (2011) “Energía y cambio climático”. Editorial Academia. ISBN 9592702276, La Habana, Cuba.
- Díaz G., Sánchez I. y Guajardo R.** (2009) “Análisis de series de tiempo de clima para la toma de decisiones en México”. Primera reunión de la red temática del agua. Investigación y agua en México, Informe Técnico, CONACYT, México.
- Camarasa V.** (2009). “Cómo se comenta un climograma y ejercicios para practicar” extraído de: <http://vicentecamarasa.wordpress.com> en octubre 2014.
- García R., González J. y Jornet J. M.** (2010) “SPSS pruebas no paramétricas. Kolmogorov-Smirnov”, Grupo de Innovación Educativa. Universitat de Valencia, España.
- Gentile E.** (2005) “¿Qué es un climograma?” extraído de: <http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml>. en agosto 2012.
- Guerra W.** (1982). “Estadística”, Universidad Agraria de la Habana, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba.
- Gutiérrez T., Centella A., Limia M. y López M.** (2000) “Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba”. Informe Técnico, Instituto de Meteorología, La Habana, Junio de 2000.
- INAMHI** (2008) “Gestión meteorológica: estudios e investigaciones meteorológicas”, Boletín meteorológico mensual, año XXXIII, No.2, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador, febrero de 2008.
- IPCC** (2007) “Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Cambridge University, United Kingdom.
- Nohara D., Kitoh A., Hosaka M. and Oki T.** (2006). “Impact of climate change on river discharge (projected by multi-model ensemble)”, Journal of Hydrometeorology, pp. 1-37, Japan.
- Oreskes N.** (2004). “The scientific consensus on climate change”. Science, vol. 306, no.10, pp. 1686, University of California, San Diego, USA.
- Peña D., Tiao G. C. and Tsay R. S.** (2005) “A course in time series analysis”, Editorial John Wiley & Sons, USA.
- Pichs R.** (2008) “Cambio climático globalización y subdesarrollo”, Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba.
- Toledo W.** (2010). “Varios conceptos de tendencias de las series cronológicas y su aplicación a las variables de empleo total y sectorial en Puerto Rico de 1970 a 2007”, Unidad de Investigaciones Económicas, Universidad de Puerto Rico. Recinto de Río Piedras, Puerto Rico.
- Villón M.** (2001) “Hidrología estadística”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Taller de Impresiones del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.