

Artigo

# Estudio de Aplicación del Análisis Regional de Frecuencias Basado en L-Momentos al Caso de las Precipitaciones Anuales en la Provincia de Camagüey, Cuba

Raidel Báez Prieto<sup>1</sup>, Doris Vivian Prieto Valdés<sup>2</sup>, Roberto Aroche Ramírez<sup>3</sup><sup>1</sup>*Posgraduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.*<sup>2</sup>*Departamento de Informática, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.*<sup>3</sup>*Departamento de Pronóstico. Centro Meteorológico Camagüey, Camagüey, Cuba.*

Recibido: 17/6/2014 - Aceptado: 1/2/2016

## Resumen

En esta investigación se presenta un caso de estudio de aplicación del procedimiento conocido como Análisis Regional de Frecuencias basado en L-momentos, al estudio de las precipitaciones anuales en la provincia de Camagüey, Cuba. Se ha adoptado la mencionada metodología por ser un procedimiento estadísticamente robusto para compensar la carencia de registros históricos de larga data por su abundancia en el área de estudio. La aplicación de la metodología permitió la estimación de las probabilidades y períodos de retornos de las precipitaciones anuales (cuantil de interés) así como la obtención de mapas de frecuencia.

**Palabras-clave:** análisis regional de frecuencias, l-momentos, Cuba, hidrología probabilística, modelo de frecuencia.

## Case Study of Regional Frequency Analysis Based in L-Moments to the Case of the Annual Rainfall in the Province of Camagüey, Cuba.

### Abstract

In this research is presented a case study of application of the procedure known as Regional Frequency Analysis based on L-moments, in the study of the annual rainfall in the province of Camagüey, Cuba. It has adopted the above methodology to be statistically robust procedure to compensate for the lack of long-standing historical records for its abundance in the study area. The application of the methodology allowed the estimation of the probability and returns periods of annual rainfall (quantile of interest) and obtaining frequency maps.

**Keywords:** regional frequency analysis, l-moments, Cuba, probabilistic hydrology, frequency model.

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

La variabilidad y los cambios del clima se presentan como factores de presión a la hora de toma de decisiones de la civilización contemporánea y futura. Eventos hidrometeorológicos extremos se presentan con mayor intensidad y frecuencia en diferentes regiones del planeta, afectando tanto a la economía como a la seguridad alimentaria de la población (ONU, 2005).

En el caso particular de Cuba, los episodios de sequía, ejemplo de evento extremo de las precipitaciones, se han incrementado en los últimos años, trayendo consecuencias

perjudiciales para la producción agropecuaria y la conservación de sus suelos. Son de destacar, como ejemplo, los eventos ocurridos en los veranos de 1993, 1994, 1998, 2000 y los episodios más intensos ocurridos en el período 2004-2005 (Lapinel *et al.*, 2006).

En la actualidad Cuba enfrenta la peor sequía de los últimos 115 años, con un impacto significativo en términos monetarios, lo que ha llevado al país a aplicar un plan de contingencia para casos extremos, involucrando a las más altas autoridades de la isla, así como al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), entre otras instituciones y entidades. El fenómeno de la sequía, normalmente, ha causado mayor impacto por su duración y persis-

tencia, en las provincias orientales del país. En los últimos años, sin embargo, sus efectos se vienen manifestando en todo el territorio nacional (Fonseca, 1998).

Los valores acumulados anuales medios de precipitación, que pueden alcanzar más de 1000 mm, se distribuyen con una marcada estacionalidad en el país. Esta última se manifiesta en un período poco lluvioso de noviembre a abril y un período lluvioso de mayo a octubre, que acumula más del 50% del total anual. Cuando el país se ve afectado con una seca o anomalía climática negativa extrema de las precipitaciones, incrementada su vulnerabilidad a los impactos sobre la producción de alimentos. Esto conlleva la necesidad, por lo tanto, de incrementar los mecanismos de adaptación y aumentar así su capacidad para salir lo menos afectada ante los daños que los periodos de sequía traen consigo. Los profesionales vinculados a los servicios de meteorología, hidrología y clima han ido incrementando sus herramientas de análisis y evaluación de la recurrencia de los episodios de sequía, a través de la incorporación de nuevas metodologías y procedimientos para estudiar, monitorear y pronosticar los mismos, en el contexto de un Programa Nacional de Vigilancia y Alerta Temprana de la Sequía. Ejemplo de ello, lo constituyen las diversas herramientas de análisis estadístico utilizadas para estimar cuantitativamente las probabilidades y tiempo de retorno de eventos hidrometeorológicos a nivel nacional. Sin embargo, los procedimientos de estadística hidrológica convencionales utilizados en la actualidad, presentan limitaciones, fundamentalmente, por la incertidumbre del cálculo probabilístico, sobretodo de los eventos de rara ocurrencia. (Planos *et al.*, 2004).

Por lo antes referido, se hace importante la adopción, por parte de los profesionales vinculados al análisis hidrológico en Cuba, de técnicas robustas para el análisis de la recurrencia (frecuencia) con que eventos hidrometeorológicos extremos, como la sequía, afectan a las distintas regiones del país, a modo de dejar esta información a disposición de las instancias de toma de decisión (Aroche, 2008). Es en el contexto mencionado que profesionales del Instituto de Meteorología de Cuba se han incorporado al Programa EUROCLIMA de la Comisión Europea que ha promovido, junto al Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), el desarrollo de un atlas de sequía para la Región de América Latina y el Caribe, adoptando para ello la metodología descrita por Núñez *et al.* (2011).

Conforme con lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo presentar un ejemplo de aplicación del ARF\_LM, para el estudio de frecuencia de las precipitaciones anuales en la provincia de Camagüey en Cuba. Los resultados de este estudio, junto con aportar información no disponible actualmente sobre la recurrencia de eventos de precipitación histórica en Camagüey, constituyen una primera experiencia en la aplicación de la metodología que puede ser extendida en el futuro al análisis de otros eventos

hidrometeorológicos extremos (Núñez, 2008; 2010; 2012; CAZALAC, 2006).

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la Provincia de Camagüey que, con 15 989 km<sup>2</sup>, y situada entre los 20°27', 22°29' de latitud norte y los 78°00', 78°10' de longitud oeste, es la más extensa de las provincias en Cuba (Fig. 1).

Las condiciones climáticas de Camagüey, con influencia marítima de un sistema de brisas desarrollado, se destacan por presentar dos estaciones bien definidas: un período lluvioso de mayo a octubre y uno menos lluvioso de noviembre a abril. Las principales lluvias en la región se producen por hondonadas y ciclones tropicales, los que, de manera general, disminuyen del centro a las costas y hacia el este de la isla (Aroche, 2009). La Fig. 2 presenta la distribución espacial de la Precipitación Media Anual (PMA) en el área de estudio. Los mayores montos de precipitación acumulada anual se presentan en el suroeste y noroeste, quedando para el este la región más seca y árida de la provincia, revelándose la existencia de un gradiente pluviométrico transversal (Aroche, 2009).



Figura 1 - Provincia de Camagüey (área sombreada) sobre el correspondiente mapa de Cuba. Fuente: Google Map.

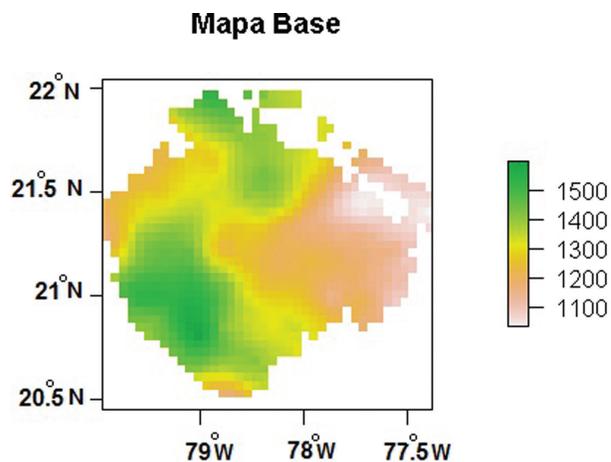


Figura 2 - Distribución espacial de la Precipitación Media Anual (PMA) expresada en mm/año en la Provincia de Camagüey, con coordenadas en los ejes laterales (Escala 1: 25 000).

**2.2. Bases de datos**

Se dispuso de series históricas de precipitación entre los años 1951 hasta 1990 (40 años), para 70 puestos pluviométricos tipo P8, administrados por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y distribuidos representativamente por toda el área de estudio (Fig. 3). Obteniendo en cada estación meteorológica, la media de las precipitaciones mensuales, con la menor cantidad de datos faltantes posibles.

**2.3. Tratamiento previo de los datos**

En la preparación y exploración de los datos utilizados, se evaluó el cumplimiento de criterios estadísticos como aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionalidad. En caso de presentar datos diarios de precipitación ausentes, dentro de un mes dado, el mes correspondiente fue considerado como nulo y quedó calificado como dato ausente (NA). Con este procedimiento, se obtuvieron las series de datos mensuales originales y no rellenadas, sin quedar faltantes, siguiendo paso a paso la propuesta para tratar datos, en este tipo de estudio, según Núñez *et al.* (2011).

**2.4. Análisis regional de frecuencias con L-momentos**

Se utilizó el Análisis Regional de Frecuencias con L-momentos propuesto por Hosking y Wallis (1997). Específicamente, se utilizó la versión de cinco etapas propuesta por Núñez *et al.* (2011) cuyas bases se encuentran en el procedimiento descrito por Wallis *et al.* (2007). Las etapas que componen el procedimiento son las siguientes:

- a) Etapa 1: Colección, inspección y control de calidad de los datos
- b) Etapa 2: Formación e identificación de Regiones Homogéneas

La creación de regiones homogéneas se realizó a partir de una super-región heterogénea que abarcara toda la provincia, para posteriormente subdividir esta super-región mediante el agrupamiento de estaciones en función de la Precipitación Media Anual.

- c) Etapa 3: Selección de la distribución de probabilidad regional

La selección del modelo parental de probabilidad para cada región se realizó en función de la estadística ZDIST (Hosking y Wallis, 1997). El modelo de mejor ajuste fue aquel con ZDIST más cercano al valor 0 sujeto a  $|ZDIST| < 1.64$ .

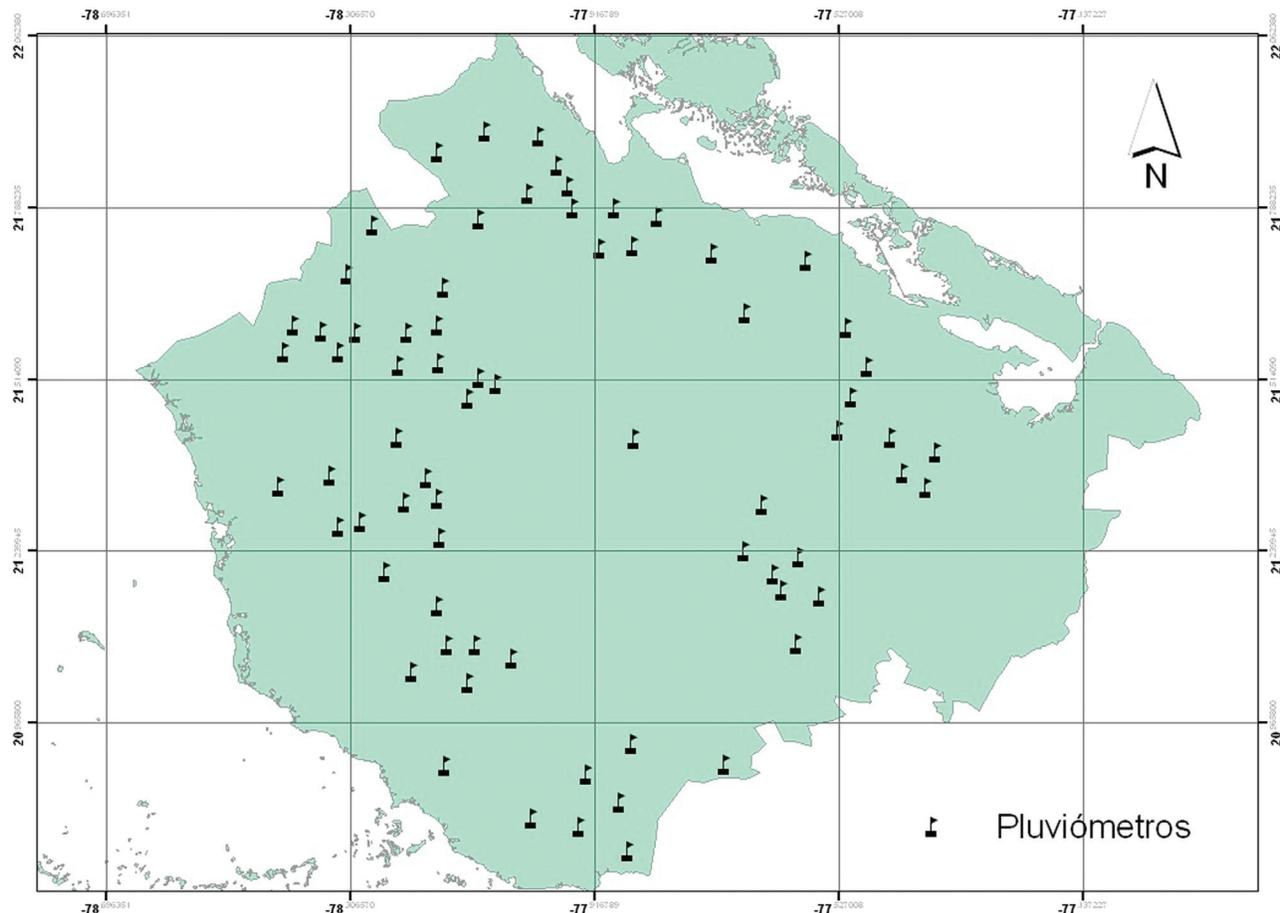


Figura 3 - Distribución espacial de la red de estaciones pluviométricas en la provincia de Camagüey.

d) Etapa 4: Estimación de los parámetros de a distribución y curva de crecimiento regional

e) Etapa 5: Mapeo

Para una mayor comprensión de la estructura y algoritmos en las etapas antes mencionadas, en el Análisis Regional de Frecuencias L- momentos, se puede consultar la literatura consultada y referida en este estudio.

## 2.5. Herramientas de análisis

Se utilizó el ambiente de programación R-RSTUDIO, con un script desarrollado especialmente para el área de estudio (Núñez, 2012).

## 3. Resultados

### 3.1. Etapa 1: Colección, inspección y control de calidad de los datos

La distribución geográfica dentro de la provincia, en relación a las características de las estaciones meteorológicas y al comportamiento de las precipitaciones, se comporta de la siguiente forma:

Las de mayor altura están al norte, mientras que las de mayor precipitación están al sur suroeste y las de menor al este de Camagüey. Se logra hacer una comparación de las estaciones con mayor elevación notándose que coincide con las estaciones donde menos precipita y en las de menor elevación se encuentran las de mayor acumulados.

Con un valor medio de lluvia de 1332 mm para todo el periodo en estudio, existe una asimetría positiva de la PMA, con una frecuencia del 5 por ciento para estaciones que presentan desde 1068 mm (mínimo en la base de datos de estudio), un 45 por ciento entre 1150 mm y 1350 mm, un 35 por ciento que esta sobre 1350 mm y los 1500 mm, un 5 por ciento entre 1500 y 1600 mm, y el resto, aproximadamente un 8 por ciento, mayor a 1600 mm (máximo en la base de datos de estudio).

Estacionalmente el mes de junio es el más lluvioso en la región de estudio. Dentro del período lluvioso existe un descenso durante julio y agosto, reconocido internacionalmente como sequía intraestival, volviendo a ser significativas en septiembre nuevamente, siendo los meses más secos diciembre y enero. El valor mínimo de precipitación anual por estaciones es 1085,26 y el valor máximo es 1611,08 con un rango de 525,83. El 95% de las estaciones presentan una media anual por intervalo entre [1300,24; 1364,47] mm. El 95% de las estaciones presentan intervalo para la desviación estándar entre: [115,499; 161,633] mm.

En las estaciones existe el siguiente patrón común: La media y la desviación estándar aumentan en los meses lluviosos, entre junio y octubre. Se puede interpretar, que los acumulados de precipitación aumentan en verano, así como su variabilidad interanual, siendo la distribución más simétrica en el período húmedo (mayo-octubre) que en los meses del período seco (noviembre-abril), justamente por la mayor variabilidad de las precipitaciones. Existe una

distribución variable de la precipitación durante el año que ni cae sobre un mes solo, ni se distribuye en muchos meses durante el año.

Luego de analizadas la estacionalidad, homogeneidad y comportamiento espacio-temporal de la variable precipitación, todas las estaciones pasaron la inspección y se mantuvieron para el análisis siguiente.

### 3.2. Etapa 2: Formación e identificación de regiones homogéneas

La Tabla 1 presenta los valores de la medida de heterogeneidad H1 para cada una de las cuatro regiones homogéneas a priori evaluadas. Estas regiones homogéneas agrupan las estaciones meteorológicas a partir del comportamiento de la lluvia media mensual.

De acuerdo con la tabla 1, todas las regiones propuestas resultaron homogéneas ( $H1 < 2.5$ ) no encontrando estaciones discordantes. Estas regiones homogéneas coinciden con las que tradicionalmente han sido distinguidas por las peculiaridades físico geográficas e influjos particulares de varios factores del tiempo y el clima, que conforman el régimen de las precipitaciones en la provincia.

### 3.3. Etapa 3: Selección de la distribución de probabilidad regional

La tabla 2 presenta los valores ZDIST de bondad de ajuste para cada uno de los modelos de probabilidad evaluados en cada una de las regiones.

De acuerdo con lo obtenido en la Tabla 2, se puede observar como con muy poca diferencia entre ellos, para cada región homogénea, varios modelos de distribución de probabilidad se ajustan. Se identificaron 3 modelos potenciales de mejor ajuste, asumiendo así, como distribución más representativa por región, la Generalizada Normal para la Región 1 y 3 (gno), la de Pearson III para la Región 2 (pe3) y la Región 4 por Generalizada Valor Extremo (gev).

**Tabla 1** - Valores de heterogeneidad H1 para cada una de las regiones homogéneas evaluadas.

	R1	R2	R3	R4
Test /Miembros	21 estaciones	25 estaciones	11 estaciones	9 estaciones
H1	0.72	1.19	0.93	0.32

**Tabla 2** - Modelos de distribución de probabilidad por región.

	Modelo de distribución	R1	R2	R3	R4
1	glo	3.69	5.17	2.31	2.05
2	gev	-1.04	0.62	-0.38	-0.17
3	gno	-0.18	0.97	-0.30	-0.22
4	pe3	-0.28	0.53	-0.70	-0.68
5	gpa	-10.03	-8.59	-5.94	-4.89

Como señalan Hosking y Wallis (1997), las regiones no necesariamente deben ser continuas geográficamente para tener una misma distribución de probabilidad, ya que todas las estaciones en las subregiones tienen además de homogeneidad estadística cierta homogeneidad geográfica, ambas, son muy coherentes para el caso de Camagüey, como indica Aroche (2009).

### 3.4. Etapa 4: Estimación de los parámetros de la distribución y curva de crecimiento regional

La Fig. 4 se presenta los Diagramas de L-momento-ratios y la curva de crecimiento regional. En la Fig. 4 izquierda se observan las distribuciones de probabilidad que más se ajustan a toda la región de estudio, estas son, Generalizada Logística (GLO), Generalizada Valor Extremo (GEV), Generalizada de Pareto (GPA), Generalizada Normal (GNO), Pearson III (PE3), quedando en un punto medio la más representativa de todas, la GEV. El gráfico a la derecha en la Fig. 4, presenta la curva de crecimiento regional.

### 3.5. Etapa 5: Mapeo

La Fig. 5 presenta la relación entre los L-momentos (L-CV, L-skewness y L-kurtosis) con respecto a la PMA.

De acuerdo con la Fig. 5, se aprecia una relación inversa entre L-CV y PMA. Esto es, la variabilidad de las precipitaciones se incrementa a medida que disminuye el régimen hídrico lo que es consistente con el conocimiento general de que, a mayor aridez, mayor la variabilidad interanual de las precipitaciones.

Finalmente y llegando al final de la metodología implementada por Núñez *et al.* (2011), obtenemos los mapas de salida Fig. 6, los mismos nos muestran a) un mapa del coeficiente lineal de variación L-CV, b) un mapa de frecuencia de un cuantil equivalente al 80% de la PMA o

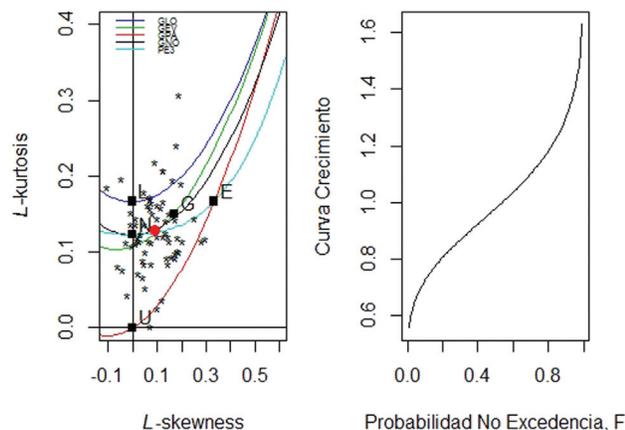
que es lo mismo que la probabilidad de tener un 20% de déficit de la precipitación anual en cada punto de la rejilla utilizada, c) un mapa de período de retorno en años del evento anterior y d) un mapa de cantidad de lluvia anual en mm/año, esperada para una probabilidad de no excedencia de 99%.

De acuerdo con la Fig. 6 a), la región sur-suroeste, donde más precipita dentro de la provincia, presenta un menor valor del coeficiente lineal de variación (0.11), donde la ocurrencia de un 80 por ciento de la media anual tendrá una frecuencia o periodo de retorno sobre los 7 años Fig. 6 c). Se tiene entonces que la región norte y más seca en la provincia, presenta un mayor valor del coeficiente lineal de variación (0.20) Fig. 6 a), donde la ocurrencia de un 80 por ciento de la media anual tendrá una frecuencia o periodo de retorno sobre los 4,5 años Fig. 6 c). En el mapa Fig. 6 d) para un 99 por ciento de probabilidad de ocurrencia de la máxima precipitación extendida a 100 años, se visualiza como en la región sur-suroeste la precipitación puede tener montos de hasta 2400 mm, mientras que al norte-nordeste podrá tener valores de 1800 mm, recogiendo así información de eventos hidrometeorológicos extremos durante los próximos 100 años.

## 4. Conclusiones

Fue posible realizar todo el proceso de regionalización descrito por el Análisis regional de Frecuencias basado en L-momentos para las características topo-climáticas de Camagüey en Cuba, llegando a la generación de productos finales, en términos de mapas de probabilidad, período de retorno y cuantiles asociados. Los mapas obtenidos revelan una configuración espacial de las precipitaciones que integra condiciones físicas y circulatorias de fenómenos meteorológicos que afectan al territorio, así como de sus posibles trayectorias.

La frecuencia, periodo de retorno y cantidad de lluvia anual para una misma probabilidad de excedencia presentan una importante variabilidad espacial en la provincia de Camagüey, Cuba. Esta variabilidad es coherente con la distribución espacial de Precipitación Media Anual (PMA) en la provincia. Esto es, aquellas regiones de Camagüey con régimen de precipitación más húmedo (mayor PMA) se asocian con menor frecuencia de déficit de precipitación respecto de la condición normal, ubicándose estas áreas donde el L-CV es menor (región a lo largo del eje centro-norte-centrosur de la provincia). En las regiones periféricas (área centro-este), la frecuencia de sequías leves (déficit del 20%) es relativamente menor (4.5 años) que en la zona húmeda (7 años). Esto es similar a lo encontrado por Núñez *et al.* (2011) en una zona de transición de la región semiárida centro-norte de Chile.



**Figura 4** - Gráficas de L\_ momentos Ratios y Curva de Crecimiento Regional. En la parte izquierda se observan las distribuciones de probabilidad que más se ajustan a toda la región de estudio, centrándose en un punto medio la más representativa. En la parte derecha se presenta la curva de crecimiento regional.

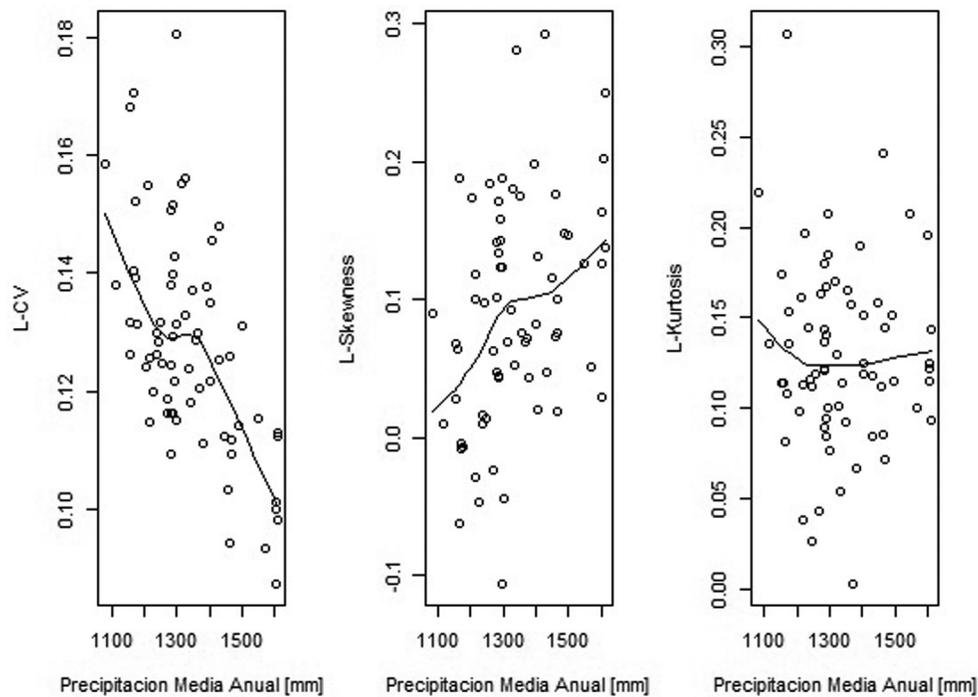


Figura 5 - Curva de ajuste entre  $L$ -moment ratios y la Precipitación Media Anual (PMA).

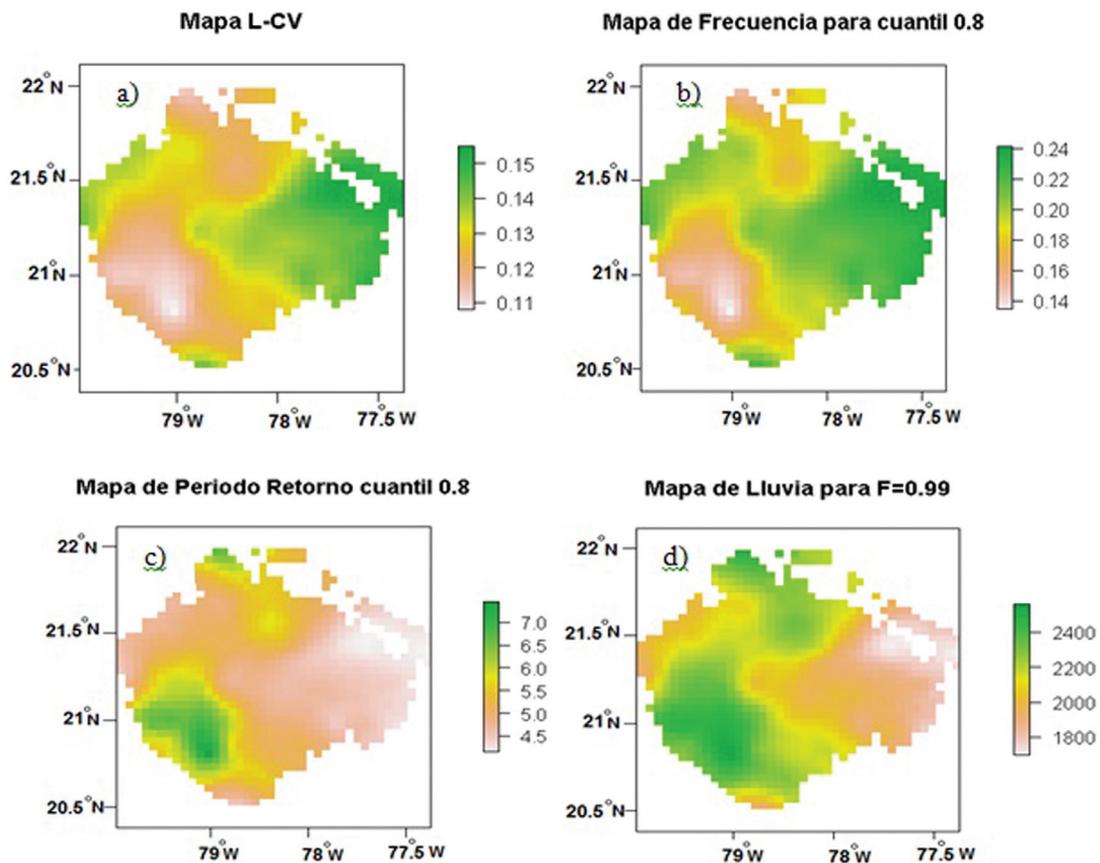


Figura 6 - a) Mapa de  $L$ -CV de Camagüey. b) Mapa de frecuencia de un cuantil equivalente al 80% de la Precipitación Media Anual (PMA). c) Mapa de periodo de retorno en años, para un cuantil equivalente al 80% de la Precipitación Media Anual (PMA). d) Mapa de cantidad de precipitación anual expresada en mm/año, para una probabilidad de no excedencia de  $F = 0.99$ . Todos los mapas con coordenadas en los ejes laterales (Escala 1: 25 000).

## Referencias

- AROCHE, R.R. Reducir la vulnerabilidad ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos adversos. Una necesidad de Cuba y una urgencia para el Gran Caribe. **Proyecto presentado a la Convocatoria 2007-2008** de la AECID de España. 2008.
- AROCHE, R.R. Detección no paramétrica de cambios de tendencia, en series de precipitación. Camagüey. Cuba. **Memoria del DEA**, presentado en la UCLM.pp134. 2009.
- BRAULIO, L.; CENTELLA, A.; GONZÁLES, I.; FONSECA, C.; CUTIE, V. Causas de la reciente sequía acaecida en la región oriental de Cuba. **Climate Variability and Change**. 2006.
- CAZALAC. Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua. Estudio de caso de la región de Coquimbo. CAZALAC-RODHOS. **Informe de Estudios y Proyectos**. 2006.
- FONSECA, R.C.M. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Cuba. **Boletín del Centro del Clima**, Instituto de Meteorología, Cuba. 1998.
- HOSKING, J.R.M.; WALLIS, J.R. Regional Frequency Analysis: an approach based on L-moments, **Cambridge University Press**, Cambridge, UK. 1997.
- NUÑEZ, J.C. Preparación de datos para el análisis regional de frecuencias: piloto IV Región de Coquimbo, Chile. **Informe Final**. CAZALAC. 2008.
- NUÑEZ, J.C. Guía Metodológica para la Aplicación del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías basado en L-momentos y Resultados de Aplicación en América Latina. **Documento Técnico PHI-LAC**, N° 27, 2010.
- NUÑEZ, J.; VERBIST, K.; WALLIS, J.; SCHAEFER, M.; MORALES, L.; CORNELIS, W. Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. **Journal of hydrology**. 2011.
- NUÑEZ, J.C. **Seminario de Fortalecimiento Institucional en Metodología del Análisis Regional de Frecuencias L-momentos para el Estudio de Eventos Hidroclimáticos Extremos en Cuba**, Habana, Cuba. 2012.
- ONU. **Documento Final de la Cumbre de la Asamblea Mundial de la ONU**. Disponible en <http://www.un.org/spanish/summit2005>, Acceso: 22 oct. 2011. 2005.
- PLANOS, E.; LIMIA M.; VEGA, R. **Intensidad de las precipitaciones en Cuba**, 80 pp., Programa Ramal: Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial, Proyecto 4053, La Habana, Cuba. 2004.
- WALLIS, J.R.; SHAEFER M.G.; BARKER B.L.; TAYLOR G.H. Regional precipitation- frequency analysis and spatial mapping for 24 hours and 2 hours durations for Washington State, **Hydrology and Earth System Sciences**. 2007.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.