

# VII Congreso Internacional de Meteorología y XXII Congreso Mexicano de Meteorología

## TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA ARF\_LM EN EL ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO EN LA PROVINCIA DE CAMAGÜEY, CUBA

### AUTORES:

LIC. RAIDEL BÁEZ PRIETO, INSTEC, CUBA, rprieto@instec.cu  
MSC. ROBERTO AROCHE RAMÍREZ, INSMET CUBA, roberto.aroche@insmet.cu  
MSC. DORIS VIVIAN PRIETO VALDES UC, CUBA, doris.prieto@reduc.edu.cu  
MSC .JORGE NUÑEZ COBO, CAZALAC, CHILE, jnunez@cazalac.org

INSTITUTO SUPERIOR DE TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS APLICADAS, INSTEC, QUINTA DE LOS  
MOLINOS, PLAZA, LA HABANA, CUBA. rprieto@instec.cu

**Resumen:** En esta investigación se presenta implementación y aplicación de un procedimiento para la modelación probabilística de las precipitaciones, que permite reducir incertidumbres implícitas en las inferencias estadísticas, que se realizan, a partir de muestras puntuales o locales de los registros de estaciones pluviométricas, así como su factibilidad para la regionalización, contando con la información de 70 registros pluviométricos en la provincia de Camagüey durante 40 años. A partir de los resultados obtenidos se logró asimilar e implementar en cuba una metodología alternativa ARF\_LM con la que se pudo realizar la caracterización de eventos pluviométricos extremos en camagüey, a través de una adecuada identificación y estimación de patrones espaciales y de sus cambios (regiones homogéneas con su correspondiente distribución de probabilidad). Se obtuvo la estimación cuantitativa de las probabilidades y período de retorno de las precipitaciones medias anuales a partir de la obtención de mapas, logrando evaluar la factibilidad del uso del ARF\_LM al compararlo con métodos convencionales.

This research presents implementation and application of a method for probabilistic modeling of precipitation, which reduces certainties associated with statistical inferences that are made, from grab samples o records of local meteorological stations and their feasibility of regionalization, with the data of 70 rainfall records in the province of Camagüey for 40 years. The results achieved in Cuba as similate and implementan alternative methodology ARF\_LM with which they could make the characterization of extreme rainfall events Camagüey, through proper identification and estimation of spatial patterns and its changes (homogeneous regions with a corresponding probability distribution). We obtained quantitative estimates of probability and return period of average annual precipitation from the collection of maps; evaluate the feasibility of making use of ARF\_LM when compared with conventional methods.

## Introducción.

La variabilidad y los cambios del clima, se presentan de manera fehaciente como factores presionantes de los procesos de toma de decisiones de la civilización tanto contemporánea como futura. Ante el imperativo de reducir los riesgos de sequía, susceptibles de convertirse en verdaderos desastres, se requiere de una preventiva y planificada gestión local en la cual la identificación de patrones espaciales de cambio es de importancia crucial. La caracterización de eventos hidrometeorológicos extremos; susceptibles de convertirse en verdaderos desastres, exige de una adecuada identificación de patrones espaciales y de sus cambios, cuestión de importancia crucial para una preventiva y planificada gestión local. La investigación está relacionada con el Proyecto Euro Clima de la Comisión Europea para América Latina y el Caribe. En la Cumbre de Jefes de Estado y de Gobierno de la Unión Europea y América Latina, celebrada en mayo de 2008, en Lima, Perú, se identificó al cambio climático como uno de los temas de mayor prioridad para la región de América Latina y el Caribe. Actualmente participan en el programa 18 países de América latina y el Caribe, entre los cuales figura Cuba. Se presenta implementación y aplicación de un procedimiento para la modelación probabilística de las precipitaciones, contribuyente a la optimización del manejo de diversos recursos disponibles para la reducción del riesgo.

En dicho procedimiento; que es una variante del conocido Análisis Regional de Frecuencia (ARF), mediante el uso de la técnica L-momentos (LM), se asume que en una región dada todos los sitios incluidos presentan la misma forma de distribución probabilística de la precipitación, aunque dispone de diversas herramientas para su verificación, (Región homogénea). El estudio tendrá un impacto científico: asimilando e implementando en Cuba una metodología alternativa para el ARF de eventos hidrometeorológicos y práctico aplicando al problema de la caracterización de las sequías meteorológicas, fenómeno de gran incidencia sobre la sociedad, la economía y la seguridad alimentaria y medioambiental.

Objetivo central o principal, Implementar el ARF basado en la técnica L-momentos, que permita la estimación cuantitativa de las probabilidades y período de retorno de eventos hidrometeorológicos extremos en la provincia de Camagüey. Objetivos específicos, Asimilar el ARF basado en la técnica L-momentos ARF\_LM. Visualizar estadísticamente las variaciones espacio- temporales de las precipitaciones a partir de la obtención de regiones homogéneas con su correspondiente distribución de probabilidad en la provincia de Camagüey. Evaluar la factibilidad del uso del ARF\_LM, para identificar patrones espaciales con el mapeo correspondiente al período de retorno de la precipitación media anual.

Eventos medioambientales extremos, tales como inundaciones, sequías, tormentas eléctricas, y fuertes vientos, tienen varias consecuencias para la sociedad humana. Muy frecuentemente un evento de una magnitud dada puede ser esperado que ocurra esto es de gran importancia. Planear ante emergencias los diseños de estructuras ingenieriles, gestionar reservas en el control de población y reducir riesgos, todos son conocimientos que dependen de la frecuencia de estos eventos extremos. El Análisis Regional de Frecuencias es la metodología que responde de mejor forma a estos requerimientos. El Análisis Regional de Frecuencias (ARF), es un procedimiento consistente en agregar la información proveniente de varias muestras, en una sola gran muestra, asumiendo previamente que todas éstas provienen de un

mismo modelo de probabilidad, que es similar para todas las estaciones que se encuentran dentro de una región denominada “homogénea” excepto por una diferencia entre ellas debidas a un factor de escala. (Wallis 1997; Hosking 2005). El procedimiento de “regionalización” es el conocido como “Índice de Avenida” o “Índice de Crecientes”. Las ventajas que tiene, respecto al procedimiento convencional “atsite” o sitio por sitio, de forma separada es que permite aumentar significativamente el tamaño total de la muestra, permite tener en cuenta la variabilidad de los L-momentos de cada estación debido al tamaño muestral, permite, por tanto, mejorar significativamente el ajuste a la distribución “parental”, de donde provienen estas muestras (registros de cada estación), en esencia, permite compensar la carencia de información en el tiempo, por su abundancia en el espacio.

El cálculo de valores cuantiles fue el primer conocimiento de aplicaciones de larga escala de la metodología de L Moment. La red de estaciones meteorológicas es poco densa, los registros son cortos e incompletos, existe una alta variabilidad interanual de la precipitación, la distribución de probabilidad de las variables hidrológicas es altamente sesgada, pueden verse afectadas por eventos extremos importante bajo el efecto ENOS. Bajo estas condiciones, los métodos convencionales de estimación hidrológica, basados en momentos y del tipo “at-site” pueden resultar en estimaciones de frecuencia “altamente sesgadas”.

**Así, los primeros 4 L-momentos, en función de  $\alpha$ , son:**

$\lambda_1 = \alpha_0$	• $\lambda_1$ = L-location (L-ubicación) o media de la distribución
$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1$	• $\lambda_2$ = L-escale (L-escala)
$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2$	• $\tau$ = L-CV (Coeficiente de L-Variación)= $\lambda_2/\lambda_1$
$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3$	• $\tau_3$ = L-Skewness (L-Asimetría)= $\lambda_3/\lambda_2$
	• $\tau_4$ = L-Kurtosis (L-Curtosis)= $\lambda_4/\lambda_2$

1. Los L-momentos (especialmente L-skewness y L-kurtosis) permiten definir cualquier tipo de distribución 2. Dos distribuciones nunca tienen los mismos L-momentos 3 L-momento 1 puede tomar cualquier valor. 4. L-momento 2 siempre es mayor o igual a 0 5 Para distribuciones con valores positivos, L-CV siempre tiene un valor entre 0 y 1. 6. A partir de L-skewness en adelante, los L-momento-ratios siempre son menores a 1. 7. Existen relaciones específicas entre L-skewness y L-kurtosis que dependen de la distribución de puntos suficientes para ajustar la función **L-momento vs. Precipitación Media Anual**. Los **L-momentos** son un sistema alternativo para describir las “formas” de las distribuciones de probabilidad. Desde el punto de vista estadístico, son una combinación lineal de los denominados “momentos ponderados por probabilidad” o “momentos de probabilidad pesada” que fueron sugeridos por Greenwood et al. 1979, Wallis (1997) y Hosking (2005). Las ventajas del ARF-LM han sido extensamente demostradas y documentadas por una gran cantidad de publicaciones Wallis (1997) y Hosking (2005). Provee de una estimación robusta de cuantiles y períodos de retorno, que los métodos convencionales no pueden ofrecer, mejora la estimación de eventos de sequía extremas, permite la generación de un mapa continuo asociado a la variable de interés, dando soporte a sistemas de monitoreo de sequías basados en análisis de frecuencia (Deciles, Percentiles).

Permite utilizar teóricamente hasta el 100% de las estaciones meteorológicas disponibles, al proveer de la mejor estimación del modelo de frecuencias en cada punto del mapa, puede aplicarse a cualquier escala temporal, mensual, multimensual, anual y multianual. La teoría incluye procedimientos establecidos y eficientes como el uso del índice estadístico y el estadígrafo de diferencia media de Gini y da pie a innovaciones tales como nuevas medidas de asimetría y curtosis y nuevos métodos de estimación paramétrica para varias distribuciones. La teoría de los momentos ponderados o pesados por probabilidad (PWMs), paralela a la de momentos convencionales, tiene una lista numerosa de aplicaciones.

**Etapas:**

**Etapas 1 y 2:** **Preparación de Datos.** El objetivo de esta primera etapa es conocer estadísticamente y gráficamente las peculiaridades de los datos con los cuales uno cuenta. Se puede obtener información valiosa sobre promedios, variabilidad, distribución, existencia de un patrón común, presencia de valores que pueden causar sospechas de ser incorrectos, etc. Para llevarla a cabo es posible recurrir a cualquier paquete estadístico que permita obtener estadísticas descriptivas y gráficas estadísticas. A partir de los datos de precipitación diaria, mediante la herramienta de Tablas Dinámicas de la planilla Excel, se calcularon las precipitaciones medias mensuales para cada año y estación. Previo al cálculo se inspeccionó visualmente los registros a modo de constatar que no existieran datos ausentes de precipitación diaria dentro de un mes dado. En caso de presentar datos diarios ausentes, el mes correspondiente fue considerado como nulo y quedó calificado como dato ausente. Con este procedimiento, se obtuvieron las series de datos mensuales originales y no rellenadas. En esta etapa se analiza la homogeneidad o consistencia de las series de datos de precipitación. Es decir, se trata de detectar los posibles errores en la adquisición de los datos que se van acumulando a través de los años, debido a que, para hacer un análisis adecuado, se requiere que las condiciones de medición sean constantes a través del tiempo. En caso contrario, se debieran corregir los valores para tomar en cuenta los posibles cambios que hayan sido originados por problemas relacionados con el instrumental o metodología de medición y procesamiento.

**Etapas 3 y 4:** **Identificación de Regiones Homogéneas.** El objetivo de esta etapa para el ARF es la definición de regiones que, se asume en principio, presentan homogeneidad respecto a las distribuciones de frecuencia de los totales de precipitación anual. En el caso de ARF\_LM, las regiones que se proponen como homogéneas se originan en el agrupamiento de estaciones de acuerdo con su Índice de Estacionalidad (SI), computado a través del script corrido en Rstudio. Con base a la aplicación de medidas de Discordancia y de Homogeneidad, ambos procedimientos basados en la metodología de los L-momentos (Hosking y Wallis, 1997), se evaluó la homogeneidad de una primera super-región que abarca todo el territorio de la provincia de Camagüey y en un proceso iterativo se van agrupando en regiones cada vez más homogéneas. En caso de considerarse una región como homogénea, se encuentra en condiciones de determinar para ella la distribución de probabilidad de mejor ajuste a los datos disponibles y con esta, los cuantiles asociados a distintas magnitudes de probabilidad.

**Etapas 5 y 6:** **Elección del modelo de Probabilidad.** Una vez encontradas las correctas regiones homogéneas nos podemos preguntar: 1\_ ¿Cuál(es) es (son) la distribuciones de probabilidad de mejor ajuste a cada serie de datos pertenecientes a una sub-región presumiblemente homogénea? ¿Sería algunas de estas Normal, Logistic, Generalized Extreme Value, Erlang, Gamma, Lognormal?, etc.

2\_ ¿Es la misma distribución de probabilidad para todas las estaciones dentro de la región, salvo por un factor de escala?

Dentro de las posibles alternativas de distribuciones aceptadas, ¿cuál será utilizada en la determinación de los cuantiles y el posterior mapeo de la distribución?

Como no hay un procedimiento teórico para decidir qué modelo probabilístico es el “mejor” en un análisis de frecuencia particular, es habitual verificar y comparar la conveniencia o conformidad de muchas distribuciones candidatas y hacer una elección entre ellas basándose en consideraciones como ajuste de datos disponibles, facilidad computacional y consistencia con varios tamaños de muestra (Nuñez 2008).

**Etapas 4: Determinación de cuantiles.** El objetivo de esta etapa es determinar los cuantiles, es decir, los valores de precipitación anual asociados a un determinado valor de probabilidad de ocurrencia. Con este procedimiento se espera determinar tanto los cuantiles regionales, es decir, aquellos que se encuentran asociados a la distribución regional de probabilidades, y por tanto, tienen una magnitud adimensional, así como los cuantiles correspondientes a cada estación. La metodología, presentación de resultados y su análisis se presentará en el próximo capítulo III. **Etapas 5: Mapeo.** El objetivo de esta etapa es generar mapas de probabilidad de ocurrencia de eventos, mapas de magnitud de un evento dada una cierta probabilidad y mapas de período de retorno de un evento específico. (Nuñez 2008).

#### Así se obtienen los siguientes mapas

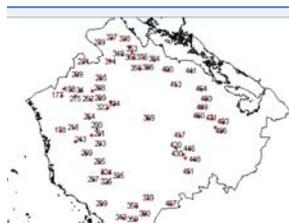
Mapeo de la distribución de probabilidad

Mapas de probabilidad de ocurrencia de eventos

Mapas de magnitud de un evento dada una cierta probabilidad

Mapas de período de retorno de un evento específico

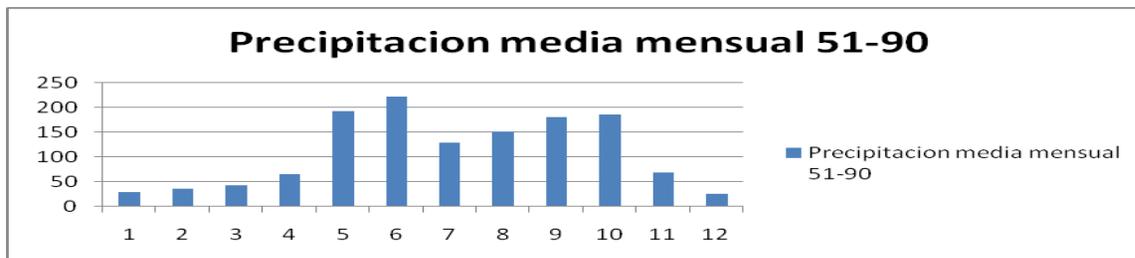
En la **etapa 1**, se dispuso con una serie desde el año 1951 hasta el 1990 (40 años), para 70 puestos pluviométricos tipo (P8), administrados por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y distribuidos representativamente por toda la región de estudio, como se muestra a continuación.



**Mapa de Camagüey con registros pluviométricos utilizados en la implementación del ARF\_LM.** Se calcularon las precipitaciones mensuales para cada año y estación. Previo al cálculo se inspeccionaron los registros a modo de constatar que no existieran datos ausentes de precipitación diaria dentro de un mes dado. En caso de presentar datos diarios ausentes, 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.

Se visualizó un resumen estadístico descriptivo, conociendo como el mes de junio es el más lluvioso en la región de estudio, así como también que 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. La estación 297 presenta el mayor valor de precipitación anual y la 469 el menor. El 95% de las estaciones presentan intervalo para la desviación estándar entre: [115,499; 161,633].

**- Precipitación media mensual 51-90.**



Mediante análisis exploratorio de los dato, las estaciones que sobresalen por su altura están al norte de la provincia, o por su precipitación tanto máxima (al sur suroeste de la provincia), como mínima (al este de la provincia), se tienen las estaciones con mayor precipitación superior a los 1600mm a modo de ejemplo la estación 335 ubicada al sur de la provincia sobre una región llana. Presenta una mayor concentración en los meses de mayo y junio y la menor concentración en diciembre, con la mayor variabilidad sobre los meses de junio, septiembre y octubre, con valores de kurtosis pequeños y los cuantiles se representan cerca de la curva normal, por lo que la estación se rige por una distribución según el modelo normal, similares se comportan en este caso las estaciones con mayores volúmenes de precipitación. Continuando con el estudio preliminar tenemos a las estaciones con mínimo de precipitación menores a 1100mm, que será la estación con el menor volumen de acumulados la misma es la 469 con 1085 mm de precipitación. Las estaciones con mayor elevación (115metros sobre el nivel de mar) son la 369, 417 y 430 siendo las de menor elevación (10msnm) la 299, 338, 441, 383 y 353. 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. Se puede interpretar, entonces, que los montos de precipitación aumenten en verano, así como su variabilidad interanual. Sin embargo, la distribución es más simétrica en la estación húmeda que en los meses secos, justamente por la mayor variabilidad de las precipitaciones, que aportan con una mayor cantidad de valores altos a la curva de distribución. En cambio, en los meses secos, prácticamente la media es cercana a 0 con valores positivos, con mínima variabilidad, pero basta la ocurrencia de muy pocos eventos de precipitación en estos meses para que extiendan la cola de la distribución hacia la derecha, sesgando significativamente la curva de distribución de frecuencias.

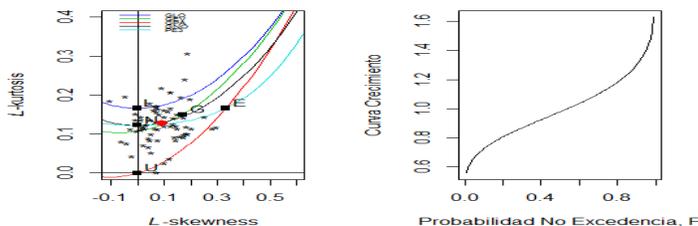
**Identificación de Zonas Homogéneas.** El análisis de conglomerados no logró detectar agrupamientos en la zona costera, debido presumiblemente, a la falta de puntos de medición pluviométrica. Ello constituye la mayor diferencia con ARF\_LM, el cual operó con criterios de agrupamiento complementados con la utilización de indicadores de discordancia o mediante gráficas de visualización de L-Momentos ratios. De modo que los conglomerados definidos por el análisis multivariado deben ser considerados como preliminares y sujetos a refinamientos posteriores, particularmente a la hora de definir las regiones o subregiones homogéneas definitivas. No obstante existe una buena correspondencia en la distribución geográfica de los clúster y las regiones homogéneas obtenidas, pues coinciden con las que tradicionalmente han sido distinguidas por peculiaridades físico geográficas e influjos particulares de varios factores del tiempo y el clima, que conforman el régimen de las precipitaciones. Se obtienen las 4 regiones homogéneas, las mismas se distribuyen por toda la región de estudio y se comportan de la siguiente manera:

Cluster	Estaciones	Por ciento
1	20	28,57
2	23	32,86
3	13	18,57
4	14	20,00

Se puede visualizar que las regiones obtenidas presentan una distribución uniforme acorde con el total de estaciones. Existe una cierta correspondencia en la distribución geográfica de los clúster y las regiones climáticas. La mayor diferencia está en que el análisis de conglomerados no logró detectar agrupamientos en algunas zonas del territorio, debido seguramente, a la falta de información meteorológica. Sin embargo, el criterio de agrupamiento es resuelto con base a indicadores de discordancia o mediante gráficas de visualización de L-Momentos, de modo que los conglomerados definidos por el análisis multivariante debe ser considerado como preliminar y sujeto a refinamientos posteriores. Probablemente se requerirá de un refinamiento posterior a la hora de definir las regiones o subregiones homogéneas definitivas, para lo cual será necesario aplicar los test de Discordancia y Homogeneidad posteriores con el uso de los L-momentos.

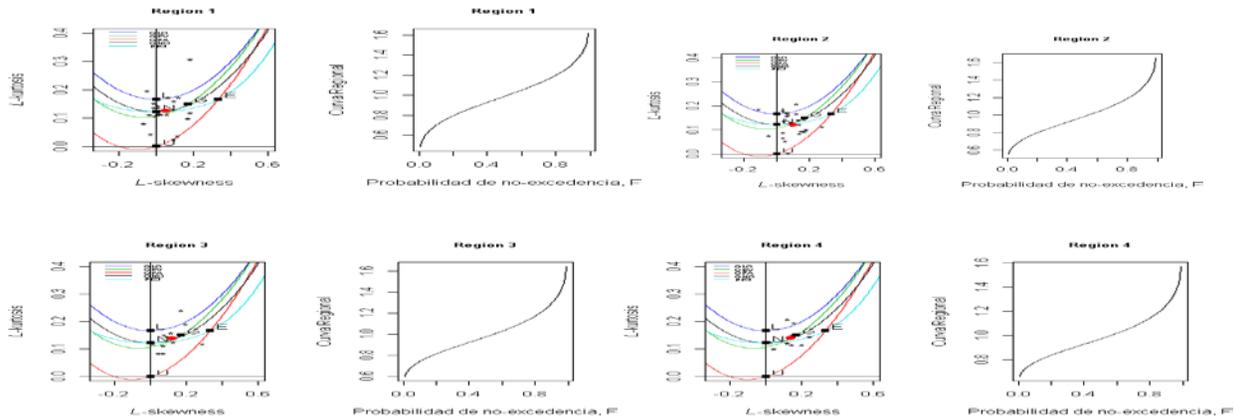
**Ajuste de distribución de probabilidad por sub-región según el reporte Rstudio.**

Se obtiene la gráfica de L Momentos Ratios es decir como se comportan las 70 estaciones con respecto a las distribuciones de probabilidad que más se ajustan en la región:



Conociendo que, GLO Generalizada Logística, GEV Generalizada extreme value, GPA Generalizada de Pareto, GNO Generalizada Normal , PE3 Pearson tipo 3.

A continuación se muestra la salida L\_Momentos Ratios de cada Región homogénea donde se puede visualizar la distribución de probabilidad y cuantiles correspondientes a cada región:



Con base al análisis de L-momentos y test de bondad de ajuste y considerando aspectos prácticos, se seleccionan las distribuciones de probabilidad de mejor ajuste para cada subregión homogénea. Ellas son la G Normal para la región 1 y 3, la de Pearson III para la región 2 y la región 4 por Generalizada Valor Extremo, aunque para las 4 subregiones obtenidas, se presentan valores que corresponden a las 3 distribuciones antes mencionadas muy similares, con muy poca diferencia entre ellos. El modelo finalmente seleccionado fue Generalizada de Valor Extremo para el mapeo general como se visualiza al final de este capítulo.

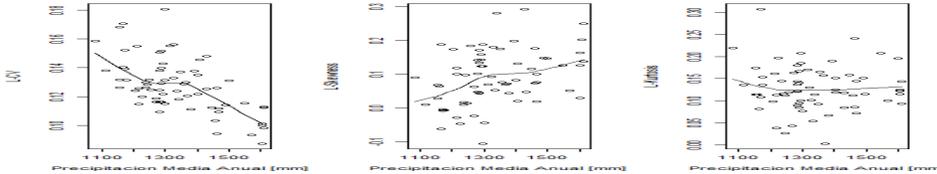
#### Determinación de cuantiles.

Los cuantiles son valores asociados a un determinado valor de probabilidad, dependiente de una función de distribución acumulada de probabilidad especificada en sus parámetros. El software Rstudio junto con determinar la o las distribuciones de probabilidad de mejor ajuste a la serie de datos pertenecientes a una región homogénea, determina al mismo tiempo los parámetros de la distribución, medidas a partir de las cuales se calculan los cuantiles para un set de valores de probabilidad. La ventaja de este procedimiento es que, conociendo la curva de crecimiento regional, o curva de cuantiles regionales, se determinan fácilmente los cuantiles de cada estación, multiplicando los cuantiles regionales por el correspondiente factor de escala, que corresponde en este análisis a la precipitación media anual de la estación considerada. En la región 1 se tiene una PMA de 1199mm que con una probabilidad 0.8 tenemos un cuantil de **1439.21mm**, para la región 2 se tiene una PMA de 1305mm que para una probabilidad 0.8 tenemos un cuantil de **1566.56mm**, para la región 3 se tiene una PMA de 1433mm que para una probabilidad 0.8 tenemos un cuantil de **1690.65mm** y para la región 4 se tiene una PMA de 1570mm que para una probabilidad 0.8 tenemos un cuantil de **1805.48mm**.

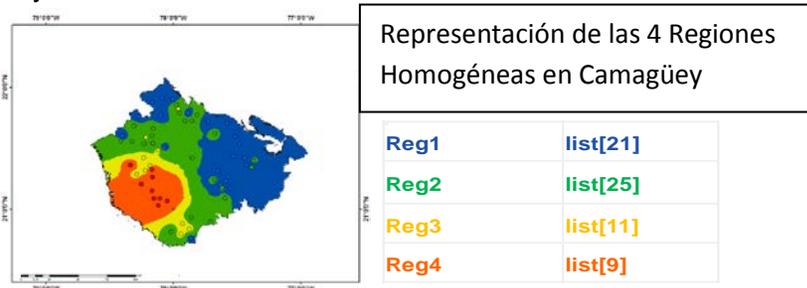
Se obtuvieron las curvas de crecimiento regional para cada una de las regiones homogéneas identificadas. Se determinan los cuantiles regionales para cada una de las 4 sub-regiones homogéneas. A partir de estos cuantiles, es posible determinar los cuantiles específicos para cada estación y así determinar la probabilidad de que ocurra un determinado evento y la magnitud de un evento asociado a una determinada probabilidad o período de retorno.

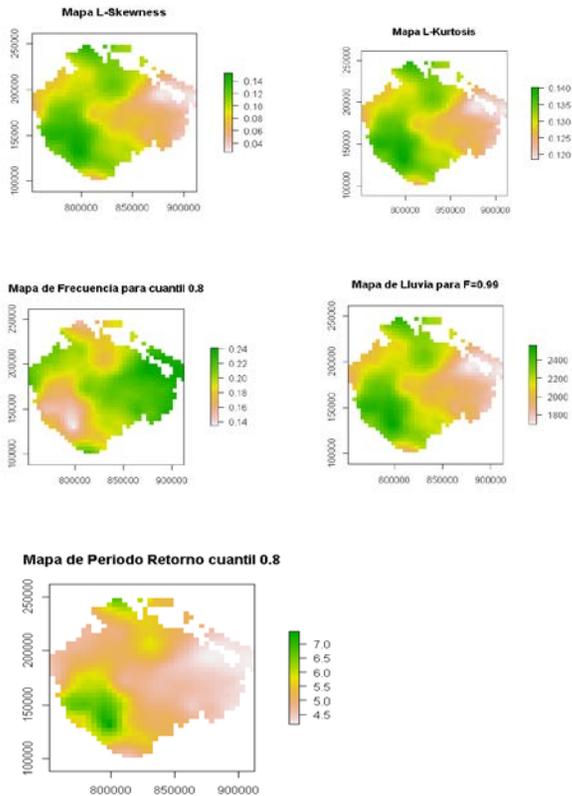
**MAPEO.** El mapeo requiere ajustar una función del tipo L Momento contra precipitación media anual por lo que en el Diagrama L Momentos contra precipitación media anual, se muestra cómo se comporta la precipitación media anual con respecto al coeficiente lineal de variación LCV, así como respecto a la L\_ asimetría y la L\_ curtosis, obteniendo que para LCV no se tiene una elevada relación, ello sugiere la búsqueda de otro tipo de relación.

**Diagrama L Momentos contra precipitación media anual.**



El diagrama de L Kurtosis contra L skewness compara los radios T3 y T4 dimensionales de muestras estimadas con sus correspondiente rango de distribuciones estadísticas, L Moment diagrama se usa para determinar grupos de sitios con similar modo de frecuencia limitado e identificando la distribución estadística más adecuada descrita por Pearson (1991). Se obtuvo los coeficientes de mejor ajuste de una curva que relacionó los L-momentos regionales con la Precipitación Media Anual de la región homogénea. Sin embargo, y como un hecho relevante del análisis, se demostró que el modelo exponencial decreciente para el mejor ajuste, utilizado en la metodología, no tenía aplicación satisfactoria en algunas relaciones, como aquella existente entre L-Asimetría con Precipitación Media Anual y entre L-Curtosis y Precipitación Media Anual. Con esto, fue posible obtener tanto las curvas de mejor ajuste, así como 3 productos, consistentes en: a) un mapa de la probabilidad de tener un 20% de déficit de la precipitación anual, en cada punto de la rejilla utilizada, b) un mapa de período de retorno del evento anterior y c) un mapa de cantidad de lluvia anual esperada para una probabilidad de no excedencia de 0.99. En el caso de estudio se obtuvo que la región de sur\_suroeste, Vertientes donde más precipita, será la región con menor coeficiente lineal de variación (0.11), según mapa de LCV obtenido, donde para un 80 por ciento de probabilidad de la media anual se tendrá una frecuencia de 7 años, y sobre la región norte y este en el área de estudio, el coeficiente de variación es mayor (0.20), donde la frecuencia para un 80 por ciento de probabilidad será sobre los 4,5 años. En el mapa para un 99 por ciento de probabilidad extendida a 100 años se visualiza como en la región sur\_suroeste la precipitación puede tener montos de hasta 2400mm, mientras que al norte\_nordeste podrá tener valores de 1800mm, recogiendo así información de eventos hidrometeorológicos extremos durante 100 años. El mapa revela 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.





## Conclusiones.

- ◆ La terminación de la tesis con los resultados obtenidos evidencia que se logró asimilar e implementar en Cuba una metodología alternativa (ARF\_LM) con la que se pudo realizar la caracterización de eventos pluviométricos extremos en Camagüey, a través de una adecuada identificación y estimación de patrones espaciales y de sus cambios (regiones homogéneas con su correspondiente distribución de probabilidad).
- ◆ La técnica ARF\_LM permitió la estimación cuantitativa de las probabilidades y período de retorno de las precipitaciones medias anuales, cuyas magnitudes resultan de gran interés práctico, pues se obtuvo el mapa producto final para un 80% de probabilidad de su ocurrencia o para un 20% de déficit de las mismas, que oscila entre 4,5 y 7 años en toda la provincia.
- ◆ Se Evaluó la factibilidad del uso del ARF\_LM, aplicándola al problema de la caracterización de las sequías meteorológicas en la provincia de Camagüey, de lo cual emergió la necesidad de desarrollar nuevos enfoques atendiendo a las peculiaridades físico-geográficas y circulatorias de la región de estudio.

## Referencias Bibliográficas:

CAZALAC (2006). "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."

Hosking, J. (2005). "Fortran routines for use with the method of L-moments. Version 3.04.

Research Report. IBM Research Division. <http://lib.stat.cmu.edu/general/lmoments.pdf>."

Nuñez, J., Verbist, K., Wallis, J., Schaefer, M., Morales, L. and Cornelis, W. (2011).

"Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. Journal of hydrology."

Ross, S. M. (2007). "Introducción a la Estadística, trad. Valdés Sánchez, Teófilo, Reverte. ISBN 8429150390."

Wallis, H. a. (1997). "Regional frequency analysis: an approach Lmoments. Cambridge University Press, Cambridge, U.K."