

## Régimen climático y patrón espacial de las lluvias en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela

Edilberto Guevara Pérez<sup>1</sup>, Jorge E. Guevara Bello<sup>2</sup> y Esther García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Carabobo. (Eguevara@uc.edu.ve; esthergarom@gmail.com)

<sup>2</sup> Programa de Maestría en Ingeniería Eléctrica. (jorgeguevara85@gmail.com)

(Recibido: 30-Abr-2008. Publicado: 7-Jul-2008)

### Resumen

El objetivo de la investigación es diagnosticar el régimen climático de la cuenca del lago de Valencia y determinar la densidad de la red pluviométrica mediante el análisis de distribución espacial de las lluvias, utilizando la información disponible en la región central (Aragua, Carabobo y Cojedes). La precipitación mensual muestra una distribución unimodal, con el máximo en agosto y el mínimo en marzo. En marzo la humedad relativa disminuye y la velocidad del viento aumenta, ocasionando mayor evaporación. La red pluviométrica debe estar constituida por no más de 18 estaciones pluviométricas, espaciadas a unos 14 km; sin embargo, para mejorar la confiabilidad de los datos, se recomienda prestar atención a la ubicación, instalación y operaciones de las estaciones.

**Palabras clave:** Climatología, distribución espacial de las lluvias, redes pluviométricas.

### Abstract

*This research has as objective the diagnosis of climatic regime of Valencia Lake basin and the determination of maximum number of gauges by means of the analysis of rainfall spatial distribution on the study area. Climatic data of central region (Aragua, Carabobo and Cojedes States) have been used for the study. Monthly rainfall shows a unimodal distribution with the maximum value in August and the minimum in March. In March relative humidity diminishes and wind velocity increases, increasing evaporation. Rainfall network should be comprised by not more than 18 gauges at 14 km spacing; nevertheless, to improve reliability of data attention should be paid to the location and installation of gages, as well as to operation and maintenance of the network.*

**Key words:** Climatology, rainfall spatial distribution, rainfall networks.

## 1. Introducción

El siglo XX fue testigo de extraordinarios cambios, tanto en la sociedad como en el medio ambiente. Uno de los fenómenos actuales más preocupantes es la alteración del sistema climático global. La opinión pública y los gobernantes aumentaron su grado preocupación respecto a este fenómeno principalmente debido a incidentes climáticos de relevancia como El Niño, inundaciones y otros desastres en distintas partes del mundo (Francia, España, Venezuela, Inglaterra, Australia, Canadá e India). Australia registró 1998 como el año más caluroso de su historia, y el Reino Unido sufrió en el año 2000 las peores tempestades registradas desde el siglo XVII. Esta preocupación ha sido materia de reportajes en los medios de comunicación, tal como la revista Time que publicó uno reportaje, como noticia de portada, sobre los “refugiados ambientales” en el 2000 como consecuencia de los fenómenos climáticos. Venezuela particularmente ha sido sometida a fenómenos naturales catastróficos, como los deslaves del Estado Vargas en 1999, las inundaciones en Guasualito y Delta Amacuro en el año 2002, los deslizamientos de San Rafael de Mora en el Estado Mérida en 2005, entre otros (Guevara y Morales, 2007; Guevara, 2008).

Las previsiones y registros de eventos climáticos extremos señalados anteriormente, son escenarios identificados por los científicos que conforman el Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC) que asesora a las Naciones Unidas desde 1988. El primer informe del IPCC, publicado en 1990, constató un aumento de 0,5 °C en el promedio de la temperatura media global, con relación al siglo anterior y alertó sobre la necesidad de tomar medidas severas para disminuir la emisión de gases causantes del efecto invernadero, como única manera de evitar el calentamiento global. Sobre la base de dichos estudios se iniciaron una serie de negociaciones que culminaron en la Convención sobre el Clima, firmada durante la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, en 1992. El último informe del IPCC, discutido en París en febrero, en Bruselas en abril de 2007 y en Bangkok en julio del 2007, confirma las tendencias divulgadas en los informes de 1995 y a principios del 2001, en los que se constata la relación entre el aumento de la temperatura y las actividades humanas y alerta sobre la necesidad urgente de tomar medidas para la reducción de emisiones de gases causantes del efecto invernadero (Guevara, 2003 y 2004).

Las predicciones del IPCC a nivel global necesitan ser corroboradas a nivel nacional y local; pero para el estudio más detallado del comportamiento de los cambios climatológicos, se necesita disponer de información confiable de las variables climáticas, las que sólo se pueden obtener planificando el diseño, implementación y operación de las redes de observación. La disponibilidad de estos datos ayudaría a la predicción del comportamiento climatológico mediante modelos que pueden ser alimentados con esa información, cuyos resultados serían más confiables y servirían como herramientas para determinar si los cambios que suceden en el país se pueden considerar como variaciones aleatorias naturales o si ya existe una influencia directa del hombre y así tomar decisiones sobre medidas preventivas evitando, o por lo menos disminuyendo, la serie de impactos e inconvenientes que surgen a consecuencia de las alteraciones climáticas.

En Venezuela, la recolección de datos climatológicos se efectúa a través de varios entes, aún cuando es el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente quien normalmente arbitra y certifica la veracidad de los valores. Sin embargo, a nivel nacional, por problemas presupuestarios e idiosincrasia de los observadores, se ha desmejorado la red de observación manual. La automatización y la transmisión en tiempo real de los datos podría solventar, al menos parcialmente, esos problemas, aunque las redes automáticas posean sus propias dificultades. A nivel gubernamental, desafortunadamente sólo existen intenciones de llevar a cabo un sistema único de colección automatizada de la información. En la práctica, la red hidrometeorológica nacional ha sido desmantelada en más de un 30 % en comparación con la que existía 30 años atrás y la mayoría de las estaciones remanentes aún se operan manualmente, con la consecuente fuente de errores en la recolección, transmisión y procesamiento de los datos. En la región central, específicamente en la cuenca del Lago de Valencia, la situación no es diferente a lo que sucede en el resto del país, por lo que se plantea la necesidad de llevar a cabo un proyecto de diseño de una red hidrológico-ambiental que contemple un sistema telemétrico de colección automática de datos ambientales (Ascenzi *et al.*, 2007; Guevara, 1983, 1987, 1989a y 1989b).

Siendo la cuenca del Lago de Valencia un cuerpo de agua en el cual se centra la atención debido a los problemas ambientales que aparecen en ella, dado su naturaleza de cuenca endorreica y de estar ubicada en los estados más industrializados del país, se ha creído conveniente en una primera etapa del proyecto de diseño de la red hidrológico-ambiental, estudiar el régimen climático de la cuenca y estimar el número óptimo de estaciones pluviométricas mediante el análisis de la correlación espacial de la precipitación mensual en la región. Como un avance del proyecto, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos sobre el diagnóstico del régimen climático de la cuenca y el análisis de la distribución espacial de la lluvia mensual.

Los fenómenos hidrometeorológicos se estudian mediante el análisis de las series de datos medidos en sitios o estaciones de medición distribuidos sobre el área de la región considerada. El conjunto de todas las estaciones constituye lo que se denomina la red de observación, la cual debe ser un sistema organizado y dinámico, y su propósito la recolección de los datos indicados. De allí que los componentes de la red

deben relacionarse entre sí en tal forma que cada estación cumpla con una función específica dentro del conjunto (Guevara, 1983; Tabios y Salas, 1985).

Uno de los mayores problemas que se afrontan en los estudios de aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una región, es el de saber si la información básica disponible posee la suficiente confiabilidad, de modo que permita la extrapolación de los datos puntuales hacia el área total. Se pretende que el diseño de la red resuelva el problema que se plantea sobre el número de estaciones a ser operadas, la ubicación de cada una de ellas, el período de operación y los detalles del programa de observación de los parámetros hidrometeorológicos.

La densidad de la red y la duración de las observaciones dependen de la variabilidad en el tiempo y en el espacio del parámetro que se desea observar. Hasta ahora, todos los procedimientos propuestos para el diseño de redes no resuelven el problema desde el punto de vista práctico. Sin embargo, debido a que tales redes tienen que ser implementadas, se debe efectuar algún tipo de síntesis que involucre a las consideraciones teóricas y a la experiencia práctica del hidrólogo para aplicaciones locales. Por lo expuesto, es indispensable no perder jamás de vista el objetivo principal; es decir, la puesta en evidencia de las características del régimen hidrológico en la región que se estudia. Para tal fin, las estaciones deben ser ubicadas en tal forma que los datos que ellas suministren puedan servir de base para establecer relaciones entre las características meteorológicas y las hidrológicas, y entre éstas últimas y los parámetros físicos significativos de la cuenca.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el régimen climático de la región central de Venezuela y la correlación espacial de la lluvia mensual, con miras a establecer la densidad de la red de estaciones pluviométricas para la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela.

## 2. Materiales y métodos

En esta primera etapa, el estudio se ha llevado a cabo en las tres fases que se describen a continuación (Guevara, 2007; Guevara y García, 2008; Guevara y Morales, 2007):

*Fase I: Diagnóstico de la información hidrometeorológica existente en la cuenca y evaluación de la consistencia de los datos.*

Se tomó cada una de las 23 estaciones pluviométricas que existen en la actualidad en funcionamiento dentro de la cuenca y se determinó cuáles eran los parámetros que se miden en cada una y la continuidad temporal de la información facilitada. El análisis de consistencia de los datos mensuales se llevó a cabo mediante el método de doble masa.

*Fase II: Evaluación del régimen de las variables hidrológico-ambientales.*

Se determinaron los parámetros estadísticos media, desviación estándar, coeficiente de variación y, cuando aplicable, distribución porcentual a lo largo de los meses del valor total anual de los datos disponibles de las siguientes variables climáticas:

- Precipitación
- Temperatura
- Evaporación
- Humedad relativa
- Velocidad del viento

Para la temperatura, se tomó la media, la máxima y la mínima. Para el caso del régimen pluviométrico, también se realizó un análisis de la variación de la precipitación anual en la cuenca en función de la

altitud. Para ello se utilizaron todos los datos disponibles para cada estación; se clasificaron los valores de precipitación anual media en función de la altitud de cada estación y se graficaron, para obtener un ajuste teórico, por el método de los mínimos cuadrados. El modelo Precipitación-Altitud desarrollado se basa en valores medios de precipitación agrupando las estaciones en rangos de altitud de las estaciones de 250 m cada uno.

Para el análisis del régimen de la evaporación, temperatura, humedad relativa y viento, se tomó la información disponible en los tres estados, Aragua, Carabobo y Cojedes. De ese modo los resultados reproducen el régimen climático de toda la región central de Venezuela.

En la cuenca no existen estaciones hidrométricas, por lo que los caudales fueron estimados mediante el procedimiento del Coeficiente de Escorrentía y el método del Servicio de Conservación de Suelos de Los Estados Unidos de Norte América (SCS). Para tal efecto, se analizaron los parámetros geomorfológicos de las cuencas de los diferentes tributarios, así como las condiciones de cobertura y uso de las tierras. Con dicha información se establecieron coeficientes de escorrentía y los valores de Número de Curvas CN para la poderación.

**Fase III:** *Análisis de correlación espacial y determinación de la densidad de la red pluviométrica utilizando los criterios de error de la lluvia media y la interpolación espacial del método de Kagan ( $Z_1$  y  $Z_3$ , respectivamente).*

Para este análisis se tomaron los datos pluviométricos de las 23 estaciones existentes en la cuenca, considerando tres períodos de precipitación: anual, húmedo (entre mayo y octubre) y seco (entre noviembre y abril). La base del método de Kagan (1966) la constituye la función de correlación espacial  $\rho(d)$ , la cual viene a ser dependiente del espaciamiento entre estaciones y su forma depende de las características del área en consideración y del tipo de precipitación. Aquí se usa la siguiente expresión exponencial:

$$\rho(d) = \rho(0) e^{-d/d_0} \quad (1)$$

Donde  $d$  es la distancia entre estaciones,  $\rho(0)$  el coeficiente de correlación cruzada para una distancia  $d = 0$ , y  $d_0$  el radio de correlación, o distancia a la cual el coeficiente de correlación es  $\rho(0)/e$ .

Teóricamente  $\rho(0)$  debería ser igual a la unidad; sin embargo, es menor debido a los errores aleatorios en la medición de la precipitación y a las diferencias microclimáticas que podrían presentarse en el área. Kagan (1966) estima la varianza de dichos errores de acuerdo a la siguiente expresión (Guevara, 1983):

$$\sigma_1^2 = [1 - \rho(0)] \sigma_p^2 \quad (2)$$

Donde  $\sigma_p^2$  es la varianza de la precipitación puntual.

Los parámetros  $\rho(0)$  y  $d_0$  se utilizan para determinar la bondad de la red meteorológica. Kagan propone utilizar dos criterios de decisión para determinar la densidad de la red pluviométrica: precisión de la lluvia media, e interpolación espacial, los cuales se describen a continuación.

### 1. Evaluación de la precisión de la lluvia promedio:

Se determina mediante el error cuadrático medio relativo,  $Z_1$ , dado como sigue:

$$Z_1 = C_v \left[ \frac{1 - \rho(0) + \frac{0.23}{d_0} \sqrt{\frac{A}{N}}}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Siendo  $C_v = \sigma_p/\bar{p}$  el coeficiente de variación. ( $\bar{p}$  es la precipitación media sobre el área  $A$ ).

Conociendo las magnitudes de los términos  $\rho(0)$  y  $d_0$ , la ecuación (3) permite determinar el número de estaciones  $N$ , para un nivel de error  $Z_1$  predeterminado, y viceversa.

Las estaciones se pueden distribuir sobre la cuenca en forma rectangular o triangular, siendo la distribución triangular la más utilizada por su practicidad. Adoptando una distribución triangular, el espaciamiento  $L$  entre estaciones se determina mediante la siguiente expresión:

$$L = 1,07 \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (4)$$

Donde  $A$  es el área de la cuenca y  $N$  el número de estaciones a instalar. Utilizando un mapa digitalizado, se puede graficar la red de estaciones.

## 2. Evaluación de la interpolación espacial:

El error relativo asociado con una interpolación lineal entre dos puntos e interpolación hacia el centro de un cuadrángulo o triángulo, donde ocurre el máximo error, es dado por Kagan para una distribución triangular por la siguiente expresión:

$$Z_3 = C_v \left\{ \frac{1}{3}[1 - \rho(0)] + \frac{0,52 \rho(0)}{d_0} \sqrt{\frac{A}{N}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

La evaluación de  $Z_1$  y  $Z_3$  requiere del conocimiento de  $\rho(0)$  y  $d_0$ , los cuales pueden ser evaluados de la función  $\rho(d)$ , establecida en base a los datos observados. A continuación se describe el procedimiento empleado en la aplicación del método de correlación espacial:

- Se seleccionó como información básica los datos de lluvias mensuales de las 23 estaciones que disponen de información, ubicadas dentro de la cuenca del Lago de Valencia. Se adoptó como período de análisis todos aquellos meses del año entre 1950 y 2005, de los cuales se disponía de datos.
- Se calcularon las distancias entre estaciones y los coeficientes de correlación cruzada entre ellas para periodos anuales, húmedos y secos, con los datos disponibles coincidentes entre pares de estaciones. Se tomaron como valores de coeficientes de correlación significativos aquellos calculados en base a 10 o más valores de precipitación.
- Se clasificaron los coeficientes de correlación para rangos de distancia de 10 km, calculándose los promedios correspondientes.
- En base a la información adquirida como se indica en los pasos anteriores, se estableció la función de correlación espacial teórica para cada periodo de estudio dada en la ecuación (1), de la cual se obtuvieron los parámetros  $\rho(0)$  y  $d_0$ , a partir de las representaciones gráficas de los datos anteriores mediante un ajuste teórico por el método de los mínimos cuadrados.

Conociendo los parámetros  $\rho(0)$ ,  $d_0$  y el área de la cuenca,  $A$ , se usaron las ecuaciones (3) para determinar  $Z_1(d)$ , (5) para  $Z_3(d)$ , y (4) para el espaciamiento considerando una distribución triangular.

## 3. Resultados

Referente a la precipitación, el análisis de consistencia indica que los datos observados en tiempos comunes en las estaciones es consistente, pero la información posee muchas lagunas y datos faltantes. Sólo 4 de las 23 estaciones dentro de la cuenca tenían registros de precipitación continuos. Además, de éstas, sólo dos de ellas presentaban periodo de registro mayor a 25 años. Del resto de estaciones, a 11 les faltaban muchos datos, a pesar de que en muchas ocasiones existían datos acumulados de precipitación; y 8 presentaban periodos sin información sobre precipitación, entre periodos completos.

En lo que a otras variables se refiere, sólo dos (2) estaciones poseen datos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento; solamente una, tenía registros de evaporación.

En la figura 1 se muestra el régimen pluviométrico de la cuenca. El pluviograma es unimodal, indicando una marcada influencia topográfica, con el máximo en agosto y el mínimo en febrero-marzo. El régimen pluviométrico es similar en los Estados Aragua y Carabobo y por supuesto en la cuenca del Lago de Valencia.

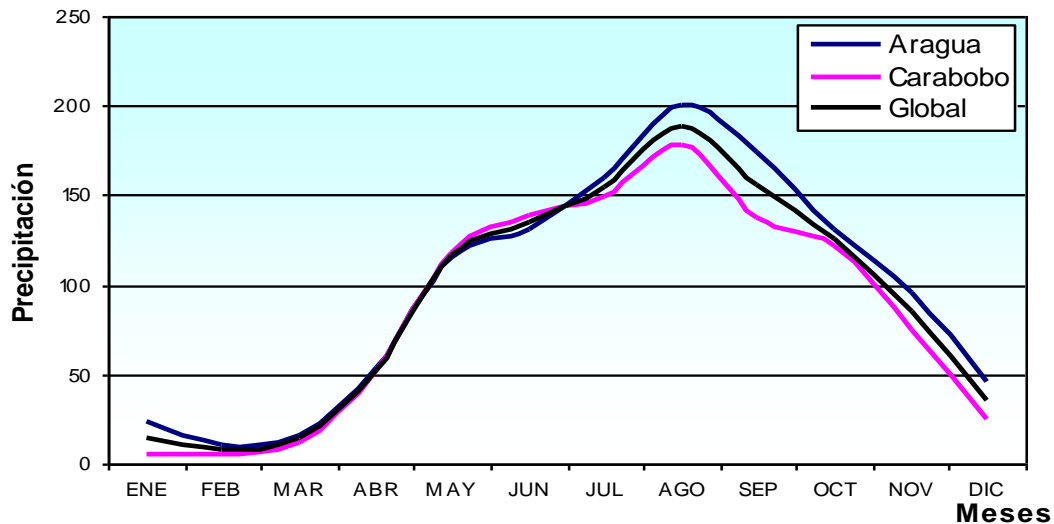


Fig. 1: Régimen pluviométrico de la cuenca del Lago de Valencia, global y por estados.

En la figura 2 se presenta la variación de la precipitación anual con la altitud de la estación. El coeficiente de correlación asociado al modelo  $P(H)$  ajustado mediante el método de los mínimos cuadrados y dado en la ecuación (6) es de 0,84, indicando un elevado grado de correlación.

$$P = 0,3154H + 1099,6 \quad (6)$$

Donde  $P$  está dado en mm/año y  $H$  en metros sobre el nivel del mar. Este modelo puede utilizarse para generar datos de precipitación anual en aquellos puntos de interés de altura conocida que no disponen de estaciones de medición. También podría usarse en conexión con otros modelos, como por ejemplo, las técnicas Kriging para determinar la distribución espacial de la precipitación (Guevara, 1989 a y b). Conociendo la distribución porcentual de la lluvia media anual, el modelo Precipitación–Altitud proporciona igualmente información sobre la lluvia mensual.

En la figura 3 se presenta el régimen mensual de temperatura en la región central de Venezuela, discriminado por Estados. Los valores de temperatura media mensual fluctúan alrededor de los 25°C para los Estados Aragua y Carabobo. En el período seco (Noviembre-Abril) la temperatura del Estado Cojedes fluctúa alrededor de los 28°C; en el resto del año, se comporta de forma similar a los otros dos estados. La variación de la temperatura media mensual en el Estado Carabobo es mucho menor que la de los otros estados de la región.

En la figura 4 se presenta el régimen mensual de la evaporación en la zona central de Venezuela. La evaporación prácticamente es igual en Aragua y Cojedes, y mayor que en Carabobo de enero a abril; muestra un pico en los meses de marzo, con valores de hasta 250 mm mensuales en Aragua y Cojedes, y casi 200 mm en Carabobo. En el resto del año, la tendencia se invierte, siendo la evaporación casi constante y alrededor de 175 mm mensuales en Carabobo y de 140 en Aragua y Cojedes.

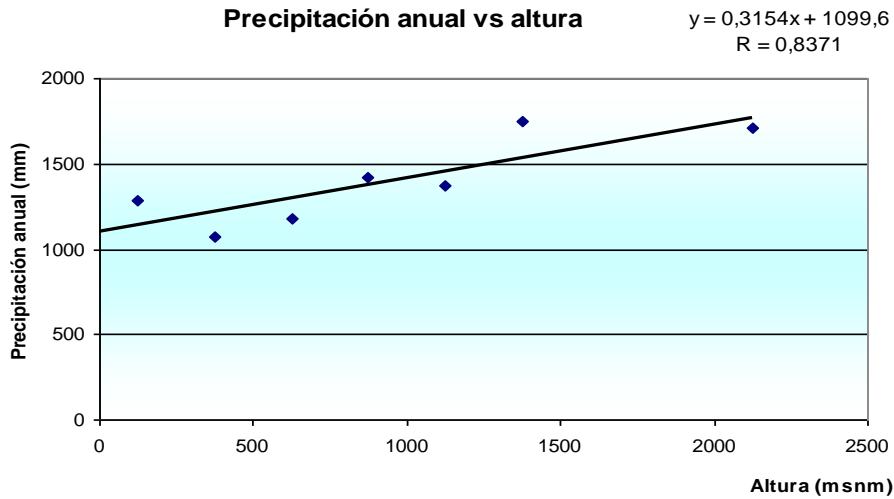


Fig. 2: Relación Precipitación anual vs Altitud para la región central de Venezuela.

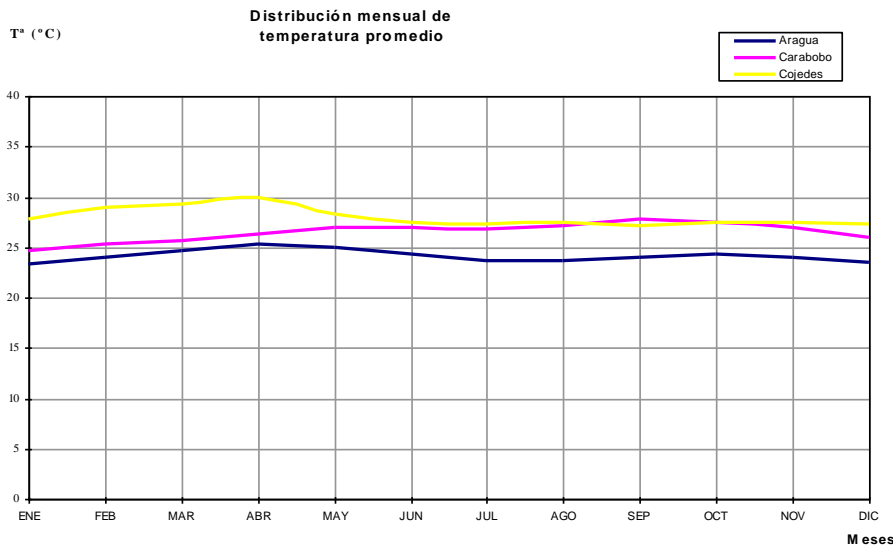


Fig. 3: Variación del régimen mensual de la temperatura en la región central de Venezuela.

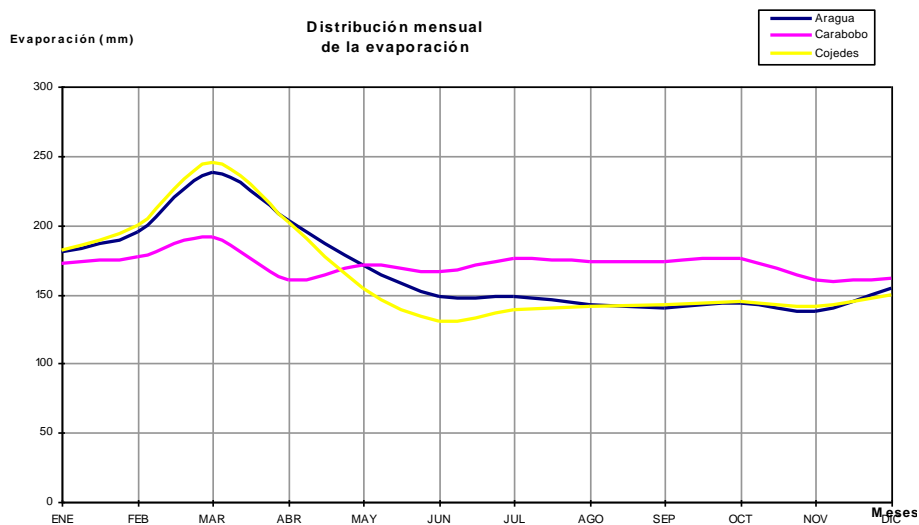


Fig. 4: Representación del régimen mensual de la evaporación en la región central de Venezuela.

La figura 5 muestra el régimen mensual de la humedad relativa en los tres estados. En el Estado Carabobo la humedad relativa se mantiene constante a lo largo del año, con una media de alrededor del 80 %. En los estados Aragua y Cojedes, los valores se encuentran por debajo de 70 % en la época seca (noviembre-abril). En el resto del año, sube hasta acercarse a los valores de Carabobo. Este comportamiento de la humedad relativa explica lo que sucede con la evaporación.

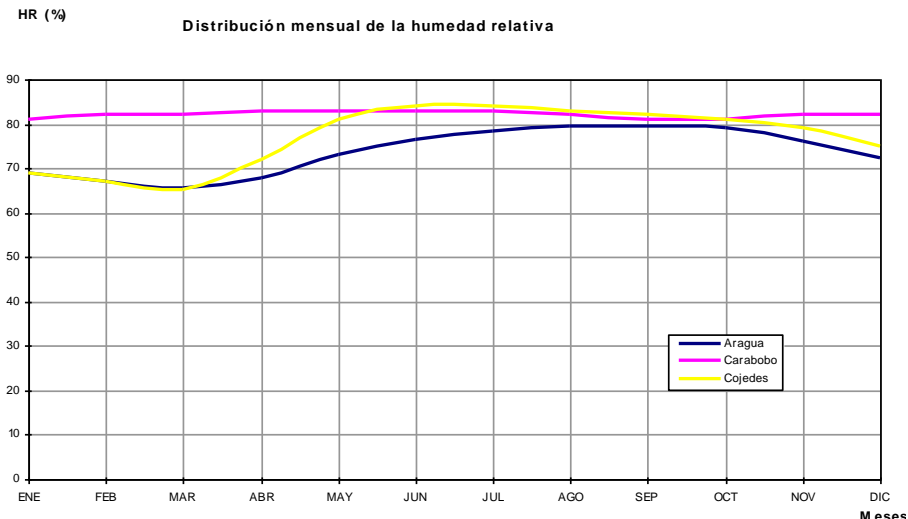


Fig. 5: Representación del régimen mensual de la humedad relativa en la región central de Venezuela.

En la figura 6, se muestra el comportamiento de la velocidad del viento, el cual es totalmente distinto al de las anteriores variables y puede deberse a que la estación donde se han registrado los valores no es representativa del estado. En Aragua los valores fluctúan entre 4 y 8 km/h, siendo los valores mayores en marzo y noviembre. En Carabobo, de enero a julio, están por encima de los 8 km/h, con valores pico de 12 y 13 en febrero y marzo, respectivamente, y un mínimo de 6 en octubre. En Cojedes los vientos son más constantes fluctuando alrededor de 4 km/h durante todo el año.

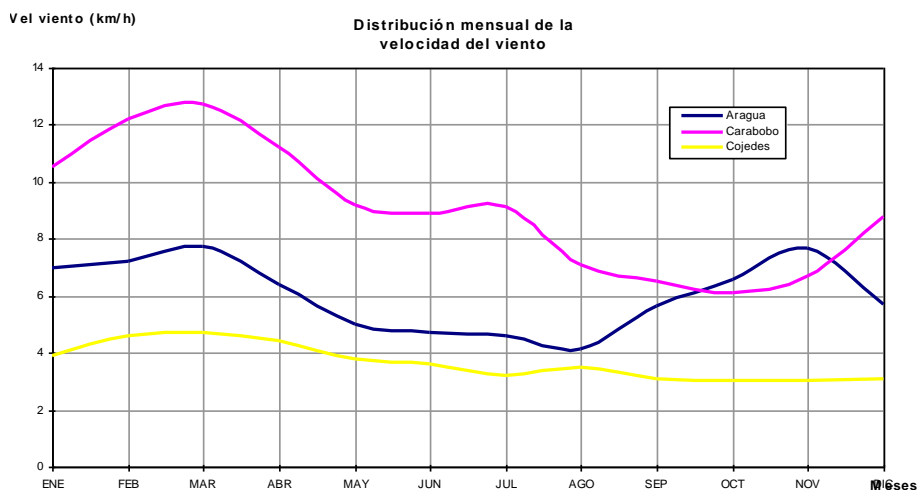


Fig. 6: Representación del régimen mensual de la velocidad del viento en la región central de Venezuela.

En la figura 7 se presentan los regímenes de caudal medio de la cuenca del Lago de Valencia calculados mediante el Método del Coeficiente de escorrentía y el Método del Soil Conservation Service (SCS). Se observa una diferencia en los resultados para los meses de transición de húmedos a los más secos, es decir, los meses de abril y noviembre. A pesar de esta diferencia, se pueden utilizar los dos métodos,

ya que el valor de caudal anual de la cuenca del Lago de Valencia obtenido en ambos es muy similar: 20,80 m<sup>3</sup>/s para el Método del Coeficiente de escorrentía, y 19,60 m<sup>3</sup>/s para el del SCS.

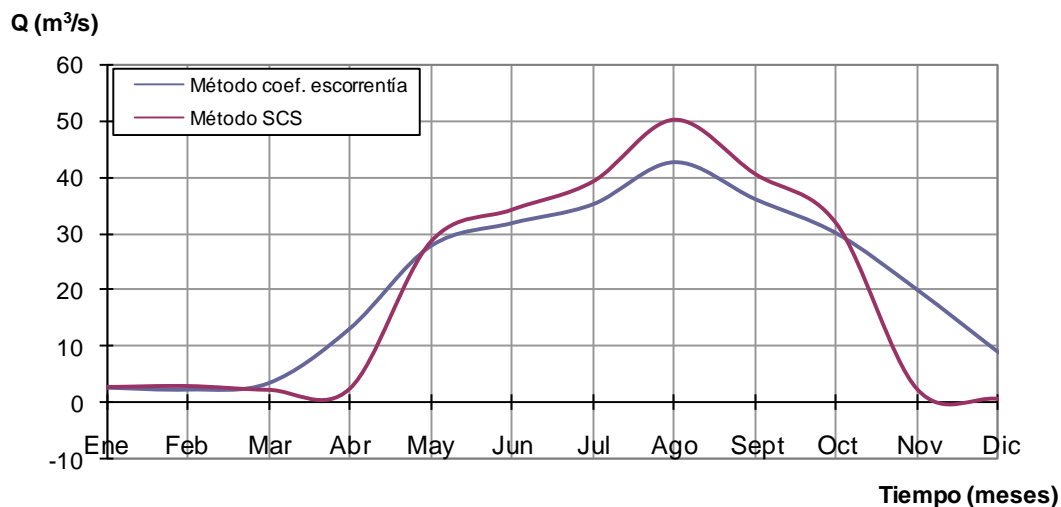


Fig. 7: Régimen del caudal mensual medio de la cuenca del Lago de Valencia.

En base a la información disponible, se estableció la función de correlación espacial teórica para cada periodo de estudio. Los resultados obtenidos se presentan a continuación discriminados para los periodos anual, seco y húmedo:

Periodo anual:	$\rho(d) = 0,98 e^{-d/40}$	$R = 0,95$
Periodo húmedo:	$\rho(d) = 0,98 e^{-d/30}$	$R = 0,88$
Periodo seco:	$\rho(d) = 0,98 e^{-d/15}$	$R = 0,85$

La correlación espacial permite obtener una aproximación a la densidad de red de estaciones pluviométricas, estableciendo el número de estaciones y el espaciamiento entre ellas, necesarios para estimar la lluvia media con un determinado error. También se puede usar el criterio del número máximo de estaciones para las cuales el descenso en el error de estimación de la lluvia media no es significativo. En este último caso, la instalación de cualquier estación adicional no mejora la información y constituye una inversión innecesaria en la adquisición e instalación de los equipos y la operación de la estación (Kagan, 1966; Guevara, 1983).

De las funciones dadas arriba se obtuvieron los parámetros  $\rho(0)$  y  $d_0$ . Conociendo éstos y el área de la cuenca,  $A$ , se determinaron las funciones de error  $Z_1(N)$  y  $Z_3(N)$ . Para el espaciamiento se seleccionó una distribución triangular de las estaciones. En la práctica habrá que considerar criterios adicionales sobre la ubicación, tales como accesibilidad, cercanía de caminos, edificaciones, construcciones, etc, con lo cual no necesariamente se podrá mantener la distribución triangular teórica.

En la figura 8 se presenta como ilustración un resumen de los resultados obtenidos para el error de estimación de la lluvia media  $Z_1$  y la interpolación espacial  $Z_3$  para el caso de la lluvia anual en la cuenca del Lago de Valencia. Se observa que, en ambos casos, el error de estimación sólo disminuye en forma sensible hasta 18 estaciones; es decir, éste debería ser el máximo número de estaciones a operar en forma ininterrumpida para obtener una buena información. Por lo menos dos de las estaciones deberían estar ubicadas sobre el espejo de agua del Lago. Resultados similares se obtuvieron al considerar el mismo tipo de análisis de correlación espacial para el período seco y húmedo del año. Los resultados se presentan gráficamente en las figuras 9 y 10 para los períodos húmedo y seco, respectivamente; en estas figuras se observa que, al igual que en el caso anual, para los períodos húmedo y seco no se requieren más de 18 estaciones para reducir sensiblemente el error de estimación de la lluvia media.

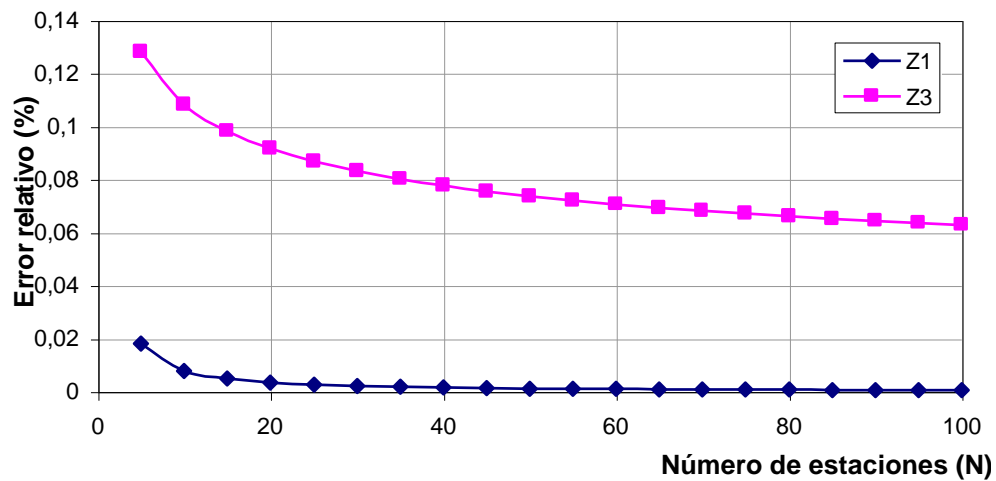


Fig. 8: Errores relativos de la precipitación media ( $Z_1$ ) y de la interpolación espacial ( $Z_3$ ) en función del número de estaciones ( $N$ ) para el periodo anual.

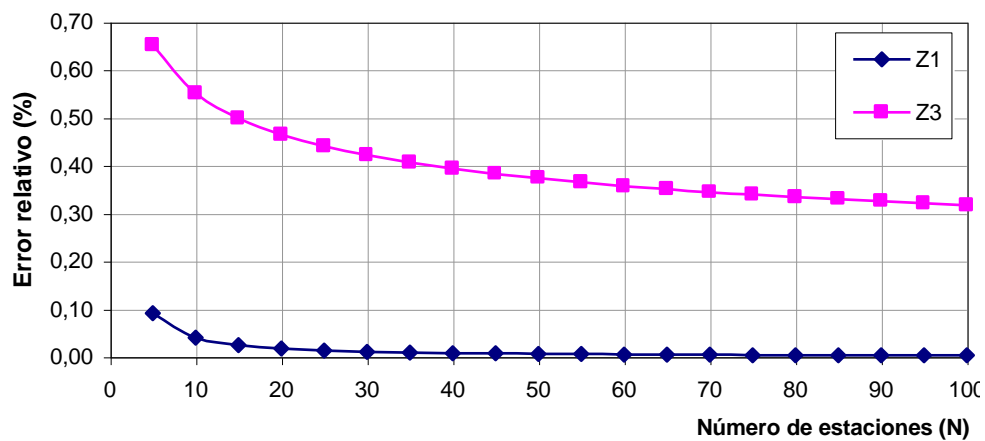


Fig. 9: Errores relativos de la precipitación media ( $Z_1$ ) y de la interpolación espacial ( $Z_3$ ) en función del número de estaciones ( $N$ ) para el periodo húmedo.

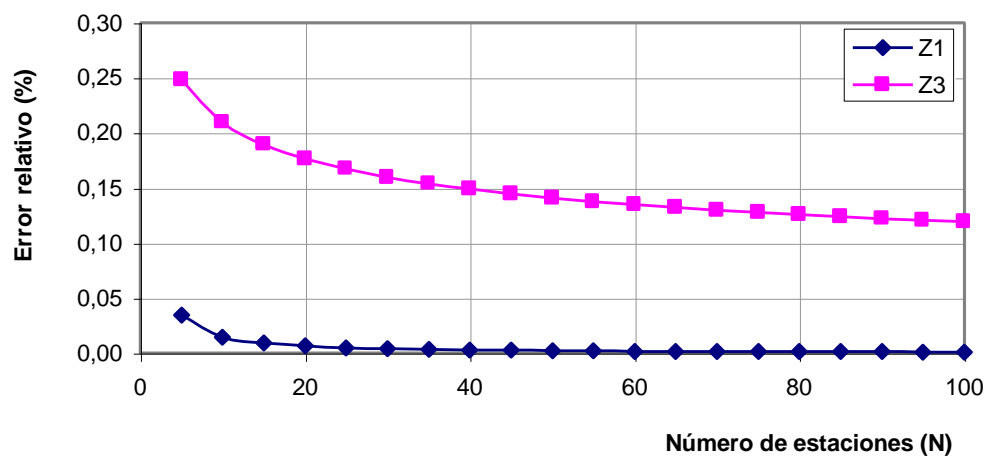


Fig. 10: Errores relativos de la precipitación media ( $Z_1$ ) y de la interpolación espacial ( $Z_3$ ) en función del número de estaciones ( $N$ ) para el periodo seco.

Para la aplicación del método de correlación espacial, Kagan indica que se debe tomar como límite de precisión para  $Z$  un valor de 10 % como máximo (Kagan, 1966); sin embargo, esto constituye un procedimiento arbitrario, por lo que también es razonable aplicar el análisis de un descenso no significativo del valor  $Z$  con el incremento del número de estaciones, aun cuando éste se encuentre por arriba de 10. Este último criterio ha sido utilizado con éxito por Guevara (1982 y 1983) en otras cuencas de Venezuela.

En esta parte del proyecto sólo se ha determinado el número de estaciones que debería poseer la red pluviométrica de la cuenca del Lago de Valencia. En las siguientes fases del proyecto se evaluará la inclusión de otras variables ambientales en la red de monitoreo y las alternativas de captación y transmisión de datos.

#### 4. Conclusiones

La operación y mantenimiento de la red de observación existente es muy deficiente, por lo que se generan vacíos en la información que originan inconsistencias en los datos. Además, sólo muy pocas estaciones están equipadas con instrumentos que registren variables hidrológico-ambientales diferentes a la precipitación.

La precipitación en la cuenca muestra una distribución unimodal con dos periodos claramente marcados: uno húmedo, entre mayo y octubre; y otro seco, entre noviembre y abril. El máximo valor se presenta en agosto y el mínimo en marzo.

La parte alta de la cuenca del Lago de Valencia posee un clima templado. Existe un periodo del año (marzo), en el cual la humedad relativa atmosférica disminuye y la velocidad del viento se incrementa, por lo que se da una mayor evaporación de agua. Cabe mencionar también que la falta de datos referentes a estas variables puede llevar a inferir conclusiones no apropiadas, debido a que algunas estaciones utilizadas se encuentran en zonas con un régimen climático totalmente diferente al de la zona de la cuenca de estudio.

La red pluviométrica de la cuenca del Lago de Valencia, para poder suministrar la suficiente información básica, tiene que estar constituida como mínimo por 18 estaciones pluviométricas, con un espaciamiento de unos 14 km, y deben ser operadas ininterrumpidamente.

#### Agradecimientos

La investigación ha sido parcialmente financiada por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad de Carabobo. Los autores desean dejar expresa constancia de ese reconocimiento.

#### Bibliografía

Ascenzi E, Mora E y Pino D (2007): *Evaluación de los parámetros hidrológico-ambientales de la cuenca del Lago de Valencia*. Universidad de Carabobo. Trabajo de Grado de la Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Guevara E (1983): Diseño de redes hidrometeorológicas. Aplicación a la cuenca del río Caura. *El agua*, 28:10-30, SVIH, Caracas, Venezuela.

Guevara E (1987): Assessment of hydrometeorology data in the southern region of the Orinoco river, Venezuela. *Z. f. Kulturtechnik und Floorbereinigung*, 2:231-237.

Guevara E (1989a): Rain gauge network design under orographic influence: a case study for the Uribante Caparo basin, Venezuela. *Mitteilungen Heft*, 70. Hanover University. Germany.

Guevara E (1989b): Network design for flat, tropical forest land: A case study for the Caura River basin, Venezuela. *Z. f. Kulturtechnik und Floorbereinigung*, 30:223-133.

Guevara E (2003): El estado del ambiente y contaminación ambiental. *Revista FACE*, Segunda Etapa, 21.

Guevara E (2004): Cambio Climático y Energía. *Revista Ciencias de la Educación*, 23:61-79.

Guevara E (2007): *Diagnóstico hidrológico-ambiental de la cuenca del Lago de Valencia*. Informe del Proyecto del mismo nombre. Universidad de Carabobo - Gobernación del Estado Carabobo. Valencia, Venezuela.

Guevara J y Morales D (2007): *Diseño e implementación de un sistema telemétrico de colección de datos hidrometeorológicos usando el servicio GMS. Caso de estudio: Lago de Valencia*. Trabajo de Grado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Guevara E (2008): *Educación para confrontar los desastres*. Dirección General de Postgrado, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Guevara E y García E (2008): Diseño de una red hidrológico-ambiental para la cuenca del lago de Valencia, Venezuela. Trabajo presentado al XXIII Congreso Latinoamericano de Ingeniería Hidráulica a realizarse en Cartagena de Indias en Septiembre de 2008.

Kagan RL (1966): An evaluation of the representativeness of precipitation data. *Works of the main Geophysical Observatory*, 191, URSS.

Tabios GQ and Salas JD (1985): A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resource Bull.*, 21:365-380.