



Curva de intensidad frecuencia y duración de inundaciones (IFD) para el municipio Venezuela, provincia Ciego de Ávila, Cuba

Intensity Duration Frequency curve (IDF) of flooding for the administrative area of Venezuela in the province of Ciego de Ávila, Cuba

Dr.C. Oscar Brown Manrique; M.Sc. Yurisbel Gallardo Ballat; Ing. José E. Valdés

Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el municipio de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila, con el propósito de construir las curvas de intensidad frecuencia duración de las inundaciones sobre la base de las precipitaciones efectivas de esa localidad y su ajuste a las funciones de Talbot y Aparicio. Se determinaron igualmente el índice de precipitación efectiva normal (IPN) de gran utilidad para la determinación de la intensidad de este fenómeno. Los resultados demuestran que las precipitaciones efectivas máximas diarias indicaron escenarios de sequía severa en el año 2004 y exceso de precipitaciones en los años 2003 y 2007. El IPN demostró inundaciones fuertes en los años 2001 y 2007 en el mes de septiembre y severas en el 2003 es el mes de junio. Las curvas de Intensidad frecuencia y duración (IFD) de mayor ajuste se encontraron con el método de Aparicio para los periodos de retorno de 21, 11, 7, 5, 4, 3, 2 y 1 años con un coeficiente de determinación aceptable de 0,807.

Palabras clave: Curvas número, precipitación efectiva, índice de precipitación normal.

ABSTRACT

The research in the administrative area of Venezuela in the province of Ciego de Ávila was developed, with the purpose of building Intensity Duration Frequency curves (IDF) of flooding on the basis of effective rainfall of the town and its adjustment to the functions of Talbot and Aparicio. It also determined the normal effective precipitation index (NPI) useful for the determination of the intensity of this phenomenon. The results show that maximum daily effective rainfall scenarios indicated severe drought in 2004 and excessive rainfall in 2003 and 2007. The NPI showed strong floods in 2001 and 2007 in the month of September and severe in 2003 is the month of June. Intensity Duration Frequency curves (IDF) of greater adjustment were found with the method of Aparicio for return periods of 21, 11, 7, 5, 4, 3, 2 and 1 years with an acceptable determination coefficient 0,807.

Keywords: Curves number, effective precipitation, normal effective precipitation index.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos naturales que se originan al caer grandes precipitaciones en un periodo corto de tiempo en un área determinada; pudiendo causar determinados efectos en relación con el tipo de suelo, la pendientes topográficas del lugar, el desarrollo hidrológico de la zona, las trasformaciones hechas por el hombre al medio natural y por supuesto el cambio climáticos que es un hecho que se manifiesta a escala global. El

estudio de las precipitaciones es esencial para el conocimiento de su distribución temporal con fines meteorológicos, edafológicos e hidrológicos que permitan determinar las intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno en una región determinada proponer índices que contribuyan al estudio de crecidas necesarios en el diseño y dimensionamiento de las obras civiles (Pizarro *et al.*, 2001). El fenómeno de inundación ocurre con frecuencia en el municipio de Venezuela mayor-

mente cuando ocurren grandes precipitaciones, que provocan la acumulación de agua libre sobre la superficie del terreno en varios puntos del municipio que afecta indirecta o directamente a la población y a la economía de esta zona agrícola. En Cuba se han realizado numerosas investigaciones sobre inundaciones y sus riesgos para la población y la economía por Kochiashvili (1972; López (1999); Sánchez y Batista (2005); sin embargo, no existen antecedentes sobre la determinación de las curvas de intensidad frecuencia y duración de eventos de inundaciones; por lo que el objetivo del trabajo consiste en proponer las curvas IFD sobre la base de las precipitaciones efectivas que permitan el diseño de obras hidráulicas para la captación de agua provenientes de las tormentas, que reduzcan los daños de este fenómeno y contribuya al control de la erosión y la recuperación de suelos degradados en función de la avenida de diseño para una probabilidad de excedencia dada.

MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el municipio Venezuela situado al sur de la ciudad de Ciego de Ávila, Cuba, que presenta una topografía muy llana. Se analizó una serie de 20 años de precipitaciones máximas diarias en 24 horas (P) desde el año 1990 hasta el 2009 registradas de forma sistemática en 20 pluviómetros ubicados dentro y alrededor del municipio de Venezuela. Se realizó el análisis de consistencia de la serie según Villón (2002).

Se determinó la lluvia de diseño (XT) para un periodo de retorno de 10 años; siendo necesario realizar el ajuste estadístico de los datos a la distribución teórica al modelo de Gumbel (1958). El escurrimiento de diseño (W) se determinó mediante la ecuación del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América (SCS, 1972) a partir de las curvas numéricas de escorrentía (CP, 1991). La precipitación efectiva (Pe) se calculó en función del valor total de precipitación y el valor de las curvas numéricas de escorrentía según la expresión de Chow (1994). El exceso de precipitación efectiva (E_{Pe}) se determina

mediante la diferencia entre la precipitación efectiva mensual y la precipitación efectiva media hiperanual a una escala de tiempo mensual.

Para estimar la intensidad de las inundaciones se utiliza el Índice conocido como porcentaje de precipitación normal (IPN); pero ajustado a las precipitaciones efectivas. El exceso de precipitación efectiva se establece mediante la diferencia entre la precipitación efectiva mensual y la precipitación efectiva media mensual.

La construcción de las curvas IFD para las inundaciones se realizó mediante la ecuación de Aparicio (1997), modificada por Pizarro *et al.* (2001); siendo necesario conformar previamente una serie de datos con las tres variables de severidad para las inundaciones (I_{max} ; T; D_{max}). La validación del modelo se realizó tomándose como criterios de bondad de ajuste el estadígrafo de Kolmogorov-Smirnov que brinda resultados satisfactorios para este propósito, el coeficiente de determinación y el error relativo promedio (ERP) (Siegel, 1986; Guerra, 1987; Grau, 1994; García *et al.*, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se muestran los resultados del cálculo de la lluvia de diseño para diferentes periodos de retorno. En la misma se observa que para un 10% de probabilidad que es la recomendada para el diseño de obras relacionadas con el drenaje agrícola y urbano se obtienen una precipitación de diseño de 270,22 mm la cual debe garantizar la evacuación de las aguas en exceso en un tiempo mínimo. Los resultados anteriores permiten determinar los parámetros de la ecuación de la función teórica de Gumbel con fines de pronóstico. Para este caso se obtiene valores de 5,362 y 120,076 para los parámetros de forma (α) y de posición (μ) respectivamente para una desviación estándar (S_x) de 47,30.

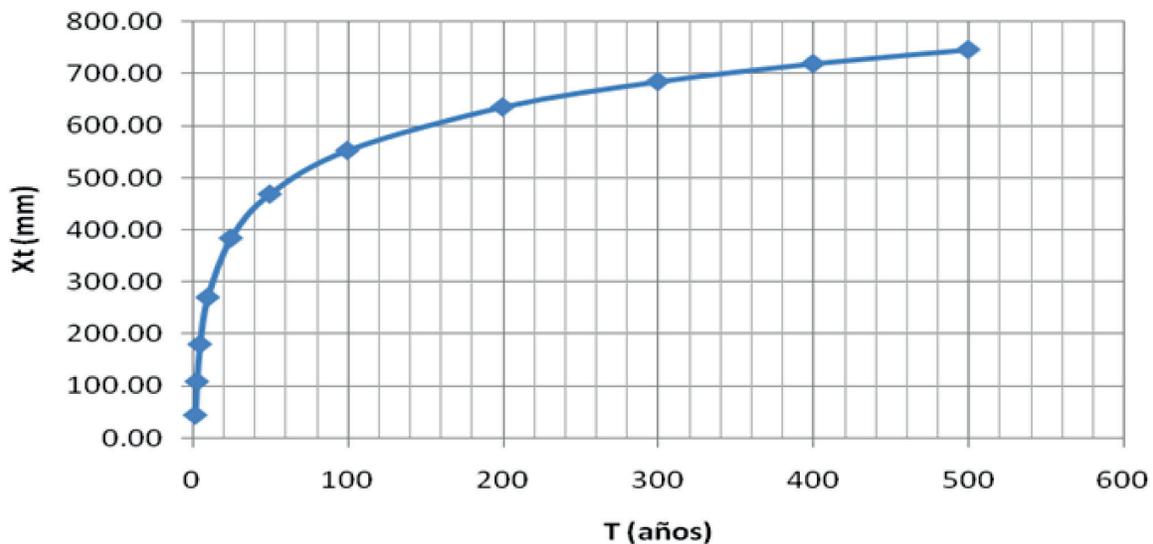


FIGURA 1. Curva de precipitación de diseño en función del periodo de retorno.

En la investigación se demostró que los valores de las curva numéricas oscilan entre 68-85 y la infiltración potencian entre 46,59-119,53 mm para las cuatros subzonas en que fue dividida el área de estudio en función de las condiciones hidrogeológicas imperantes a partir del uso actual del suelo, grupos de suelos y cobertura vegetal en esta zona en la que predominan los cultivos, pastos y bosques.

Las precipitaciones efectivas constituyen en esta investigación la base esencial para la estimación de las inundaciones.

En la Figura 2 se demuestra que el menor valor de esta variable se encontró en el año 2004 con 317,16 mm correspondiéndose con un año de intensa sequia; sin embargo en los años 2003 y 2007 se determinaron valores de 1652 y 1586 mm respectivamente lo que refleja que se trata de años de inundaciones muy significativas. El análisis de esta variable para una escala de tiempo mensual manifiesta valores mínimos de 2,61 mm para los meses de enero y febrero; así como valores máximos de 148,47 y 128,42 mm en los meses de junio y septiembre.

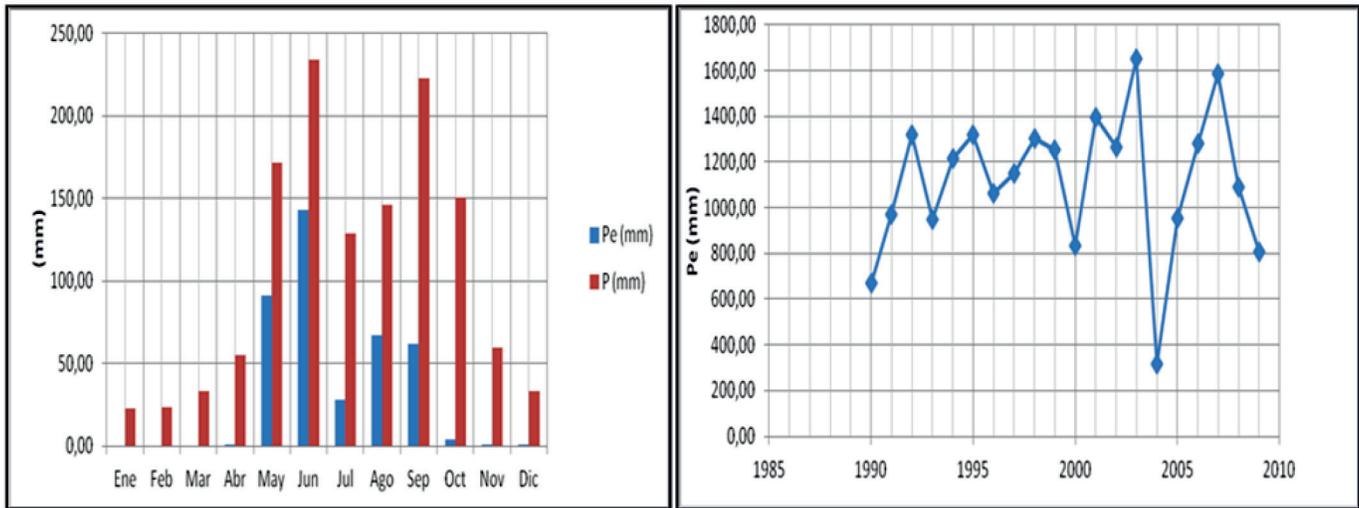


FIGURA 2. Comportamiento anual y mensual de las precipitaciones efectivas máximas diarias.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento anual y mensual del índice de precipitación efectiva normal (IPN) a lo largo de todo el periodo de estudio. Se observa que ocurren inundaciones fuertes en los años 2001 y 2007 al presentarse valores de este indicador dentro del rango de 120-175%. En el año 2003 se presenta una inundación severa al sobrepasar el indicador el valor de 175%. El analisis del índice de precipitación normal en una escala de tiempo mensual permiten destacar al mes de septiembre con una categoría de fuerte y al mes de junio con la categoría de severa.

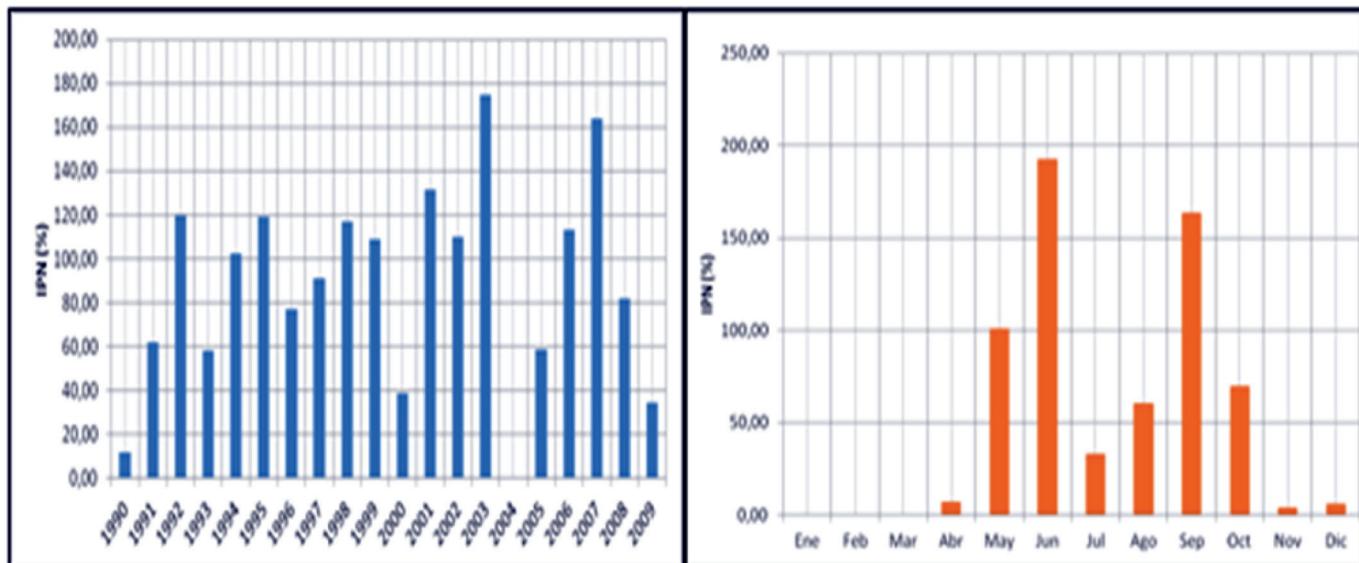


FIGURA 3. Comportamiento anual y mensual del IPN para evaluar las inundaciones.

En la Figura 4 se presenta el comportamiento del exceso de precipitaciones durante el periodo estudiado en general los valores se encuentran por encima de los 600 mm destacándose los años 2003 y 2007 con valores superiores a los 1400 mm.

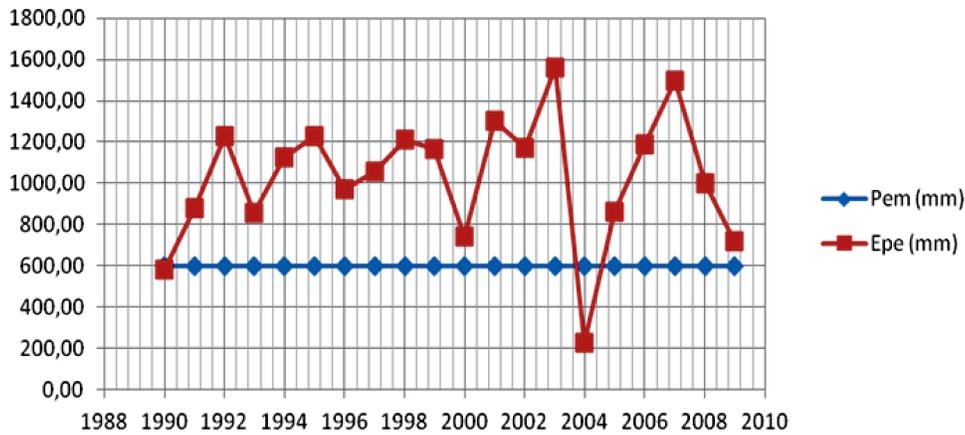


FIGURA 4. Excesos de precipitaciones efectivas.

La construcción de las curvas de intensidad frecuencia y duración (IFD) mediante la ecuación de Talbot demuestra que para lograr un adecuado ajuste con esta ecuación, fue necesario realizar el análisis en dos partes, uno para periodo de retorno de 21, 11, 7, 5, 4, 3 y 2 años; así como 1 año respectivamente; obteniéndose para estas condiciones la siguiente expresión:

$$I = \frac{213 \cdot 779}{0,762 + D} \quad (1)$$

En este caso se obtiene un coeficiente de determinación de 0,633 y un error absoluto promedio de 27%. En el periodo de

retorno de 1 año no se alcanzó un ajuste satisfactorio.

El ajuste de la curva IFD mediante la ecuación de Aparicio permitió lograr una correspondencia satisfactoria entre los datos observados y los simulados para el periodo de retorno de 21, 11, 7, 5, 4, 3, 2 y 1 año años con los que se obtuvo el siguiente modelo con un coeficiente de determinación de 0,807 y un error absoluto promedio de 14%. En las figuras 5, 6, y 7 se muestran las curvas de IFD determinadas para las inundaciones en el municipio de Venezuela.

$$I = \frac{100 \cdot 16T^{0,439}}{D^{0,593}} \quad (2)$$

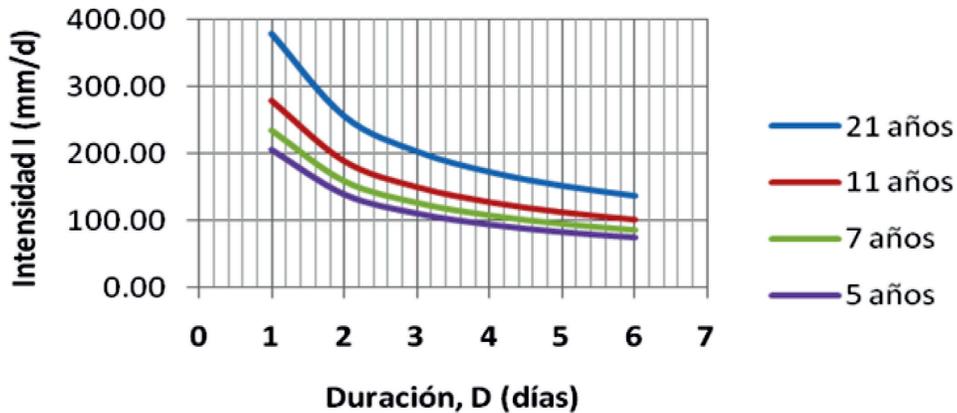


FIGURA 5. Curva de IFD de las inundaciones para T = 21, 11, 7 y 5 años.

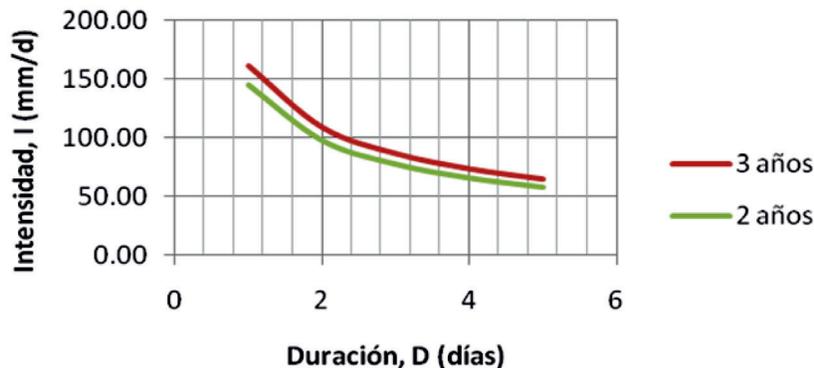


FIGURA 6. Curva de IFD de las inundaciones para T = 3 y 2 años.

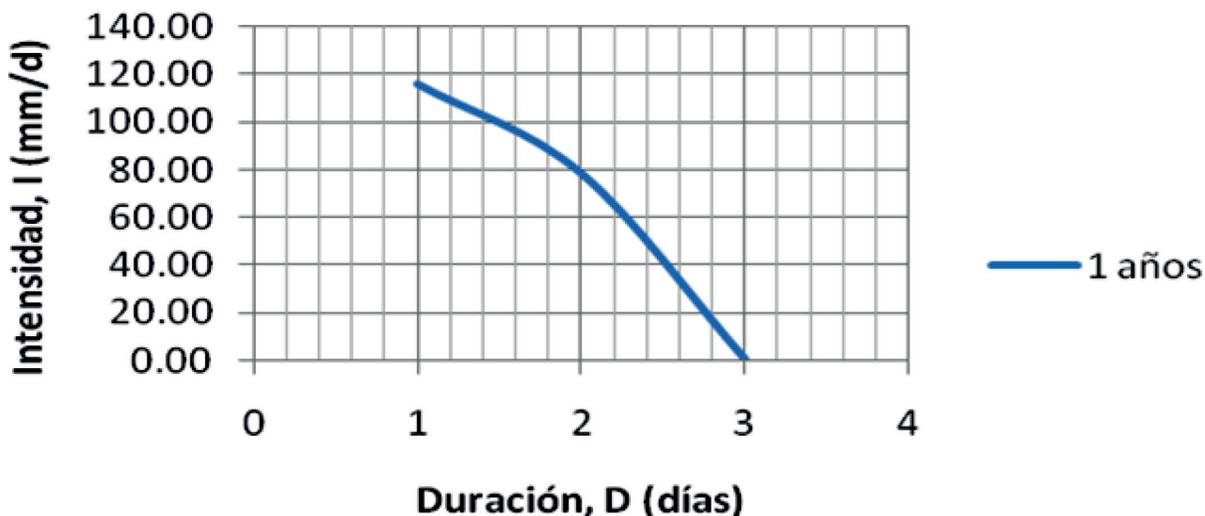


FIGURA 7. Curva de IFD de las inundaciones para T = 1 años.

CONCLUSIONES

- Las precipitaciones efectivas máximas diarias presentan valores comprendidos entre 317 y 1652 mm anuales, reflejando situaciones de sequía severa en el año 2004 y exceso de precipitaciones en los años 2003 y 2007. En el análisis mensual aparecen valores mínimos de 2,61 mm en los meses de enero y febrero y valores máximos de 148 y 128 mm en los meses de junio y septiembre. Las categorías de las inundaciones de incipientes, ligera, moderadas, fuerte y

severa correspondiente al índice de precipitación efectiva normal (IPN) se determinan a través de los cuartiles. El IPN demostró inundaciones fuertes en los años 2001 y 2007 en el mes de septiembre y severas en el 2003 es el mes de junio. Las curvas de Intensidad frecuencia y duración (IFD) de mayor ajuste se encontraron con el método de Aparicio para los periodos de retorno de 21, 11, 7, 5, 4, 3, 2 y 1 años con un coeficiente de determinación aceptable de 0,807 y parámetros de $K=100,16$; $m = 0,439$ y $n = 0,593$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APARICIO, F.: *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, 303pp., Ed. Limusa, Balderas, México, 1997.
- CHOW, V., MAIDMENT, D.; MAYS, L.: *Manual de hidrología aplicada*, 584pp., Ed. Mc Graw-Hill, Santafé de Bogotá, Colombia, 1994.
- CP: *Manual de Conservación del Suelo y del Agua* (3a ed.), Montecillo, México, 1991.
- GUMBEL, E. J.: "The statistical theory of droughts". *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 80: 439, 1957.
- GARCÍA, R.; GONZÁLEZ, J. Y JORNET, J.M.: *SPSS: Pruebas no paramétricas. Kolmogorov Smirno*, 5pp., Material elaborado adaptado del Tutorial SPSS 15. Vicerectorat de Convergencia Europea i Qualitat de la Universitat de Valencia, España, 2010.
- GRAU, R.: *Estadística aplicada utilizando paquetes de software*, Centro de Documentación e Investigación, Facultad de Matemática, Física y Computación. Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 1994.
- GUERRA, B. C.W.: *Estadística*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1987.
- KOCHIASHVILI, B.: *Lluvias Torrenciales en Cuba*, 17pp., Grupo de Hidrología Nacional (GHN), La Habana, Cuba, 1972.
- LÓPEZ, F.: *Evaluación Hidrológica de las Crecidas Provocadas por el Paso del Huracán MITCH*, Ed. Unv. San Carlos, Guatemala, 1999.
- PIZARRO, R.; ABARZA, A.; FLORES, J. P.: *Análisis comparativo de las curvas intensidad duración y frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas (VII Región del Maule, Chile)*, 48pp., Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Gestión Forestal y Ambiental, Chile, 2001.
- SÁNCHEZ C. M., BATISTA S. J. L.: *Evaluación del Peligro y Vulnerabilidad Ante La Ocurrencia de Inundaciones, Cuenca del Cauto. Cuba*, Instituto de Geografía Tropical de Cuba, La Habana, 2005.
- SCS: *Drainage of agricultural lands*, Soil Conservation Service, Water Information Center, USA, 1972.
- SIEGEL, S.: *Estadística no paramétrica aplicada a las Ciencias de la Conducta*, Editorial Trillas, México, D.F., 1986.
- VILLÓN, M.: *Hidrología*, 436pp., *Taller de Publicaciones*, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2002.

Recibido: 31 de julio de 2013.

Aprobado: 10 de septiembre de 2013.

Oscar Brown Manrique, Profesor Titular, Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Cuba, Correo electrónico: obrown@ingenieria.unica.cu