

Elaboración de curvas de Intensidad Frecuencia y Duración (IFD) para la estimación de sequías en empresas agrícolas

O. Brown¹, Y. Gallardo² y W. Pérez³

¹ Profesor Invitado de la Universidad Estatal Amazónica, Profesor Titular del Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba

² Profesor del Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba

³ Profesor Titular de la Facultad de Agronomía, UNAH

Resumen

La presente investigación analiza la elaboración de las curvas de sequía Intensidad Frecuencia Duración (IFD) en el área que comprende la Empresa de Cultivos Varios Juventud Heroica, situada en el municipio Venezuela de la provincia Ciego de Ávila, a partir del análisis de la precipitación medida en áreas de la propia empresa durante un periodo de 28 años de observaciones sistemáticas. Los resultados demuestran que se logra una adecuada estimación de la intensidad máxima de la sequía en función de la duración, a través de modelos potenciales y polinomiales de segundo y tercer orden. Las ecuaciones de Talbot proporciona una acertada relación entre la intensidad máxima y la duración de la sequía para los periodos de 2, 7, 9, 14 y 28 años; sin embargo no logran resultados confiables en los periodos de 1 y 3 años. La ecuación de Aparicio establece de forma apropiada la relación funcional instantánea entre las tres variables de severidad analizadas, con un adecuado coeficiente de correlación. En general en todos los casos evaluados se garantiza una acertada estimación y pronóstico de la intensidad máxima de sequía en la localidad de estudio.

Abstract

The present investigation analyzes the elaboration of the drought curves of “Intensity Frequency Duration” (IFD) in the area of the agricultural enterprise “Juventud Heroica”, located in Venezuela municipality, Ciego de Avila province, Cuba. The rainfall data comprise the 28-year precipitation record maintained by the enterprise. The results demonstrate that an appropriate estimate of the maximum intensity of the drought is achieved in function of the duration, through potential models and second and third order polynomials. The Talbot equations provide a correct relationship between the maximum intensity and the duration of the drought

for the periods of 2, 7, 9, 14 and 28 years; however they do not achieve reliable results for periods of 1 and 3 years. Aparicio's model gives an appropriate instantaneous functional relationship among the three analyzed variables of severity, with an appropriate correlation coefficient. In all the cases evaluated, a correct estimate and prediction is assured of the maximum intensity of drought in the study area.

Palabras claves: Intensidad Frecuencia Duración, severidad de sequía, fórmula de Talbot, modelo de Aparicio.

Introducción

Las curvas de Intensidad Frecuencia y Duración (IFD) son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno de la precipitación (Benítez, 2002). Las gráficas de las curvas IDF representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva, a un idéntico período de retorno (Mintegui y López, 1990).

En la construcción de las curvas de (IFD) se emplean comúnmente el método matemático a partir de la metodología de Aparicio (1997) que relaciona en una misma ecuación las tres variables de intensidad, duración y frecuencia en una familia de curvas y el método gráfico de Témez (1978). Con el empleo de estas curvas es posible estimar la IFD en lugares que no posean pluviógrafos, o no existe información pluviométrica (Pizarro, 2001).

Pizarro (2004) señala que en el análisis estadístico de las variables hidrológicas, la función de Gumbel es una de las más empleadas de forma satisfactoria en el estudio de valores máximos y mínimos, a pesar de la distribución espacial aparentemente errática de los eventos pluviométricos extremos (Beguería y Lorente, 1999).

En la literatura aparecen procedimientos muy avanzados para el pronóstico de sequías como es el caso del modelo predictivo de sequías desarrollado por Gonzales (2005), que con el uso de modelos globales (GCM), se puede elaborar un Sistema de Alerta Temprano para anticipar sequías; sin embargo, son escasos los trabajos que aborden la construcción de curvas IFD de sequías como herramienta necesaria para el análisis de la incidencia futura de este fenómeno en una región determinada y la toma de medidas adecuadas de prevención, mitigación o tolerancia, según corresponda en cada caso.

Con todo lo explicado, el presente trabajo tiene como objetivo elaborar las curvas de IFD y la determinación de las ecuaciones matemáticas que representan a estas variables de severidad, para los equipos pluviométricos ubicados en zonas del municipio Venezuela en la provincia Ciego de Ávila, como una contribución a la reducción de los impactos negativos de las sequías en esta localidad.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Empresa de Cultivos Varios Juventud Heroica, situada en el municipio Venezuela de la provincia Ciego de Ávila, Cuba a partir del análisis de la precipitación medida en los equipos pluviométricos CA-45, CA-46 y CA-53, localizados en áreas de la propia empresa. Para el estudio del comportamiento de sequía se tuvieron en cuenta tres variables de severidad: déficit de precipitaciones (D_p en mm); duración de la sequía (D en meses) e intensidad de la sequía (I en mm/mes), las cuales se determinan mediante las ecuaciones que se muestran a continuación, donde P_i es la precipitación (mm) y P_m la precipitación promedio (mm).

$$D_p = P_i - P_m \quad 1$$

$$I = \frac{D_p}{D} \quad 2$$

La construcción de las curvas IFD de la sequía puede lograrse mediante métodos gráficos y analíticos. En este estudio se utiliza el método gráfico sugerido por (Villón, 2002) y el método analítico a partir del ajuste de los datos de intensidad, déficit de precipitación y duración de la sequía a funciones empíricas de tipo potencial, polinomial y a las propuestas por Talbot según Remenieras (1974) y Aparicio (1997) modificada por Pizarro *et al.* (2001).

La ecuación de Talbot representada en la expresión (4) relaciona la intensidad máxima y la duración para un periodo de retorno dado, donde I es la intensidad máxima (mm/mes); D la duración máxima y a , b parámetros empíricos que dependen de la localidad y del periodo de retorno. Los parámetros a_1 y b_1 se estiman mediante la técnica de regresión lineal simple, considerando que la duración D es X_i y el recíproco de las intensidades máximas ($1/I$) es Y_i :

$$I = \frac{a}{b + D} \quad 4$$

$$a = \frac{I}{b_1}; \quad b = \frac{a_1}{b_1} \quad 5$$

La ecuación de Aparicio (1997) relaciona concurrentemente las tres variables de severidad mediante la expresión (6), donde K , m y n son constantes que se calculan mediante un análisis de regresión lineal múltiple.

$$I = \frac{K \cdot T^m}{D^n} \quad 6$$

Para obtener un modelo de regresión lineal múltiple, se aplica logaritmo a la ecuación anterior, consiguiéndose la expresión siguiente:

$$\log I = \log K + m \log T - n \log D \quad 7$$

Donde: $y = \log I$; $X_1 = \log T$; $X_2 = \log D$;

$$a_0 = \log K; \quad a_1 = m; \quad a_2 = -n \quad 8$$

En los modelos de ajustes expuestos anteriormente se utilizó como criterio de bondad de ajuste el error relativo promedio (ERP). Una vez calculadas las intensidades máximas y el déficit de precipitación para cada duración y período de retorno, se ajustan los valores a la función de distribución de probabilidad de Gumbel definida en las ecuaciones (10) y (11), donde X_m es la media de la muestra; S la desviación estándar de la muestra; P

la probabilidad y α , β los parámetros de forma y escala respectivamente. Para comprobar el grado de ajuste de los datos reales respecto a la función de distribución teórica, se realizó la prueba de bondad de ajuste mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

$$F(x) = B - \left(\frac{1}{\alpha}\right) \ln \left[\ln \left(\frac{1}{P} \right) \right] \quad 10$$

$$B = X_m \frac{-0.5772}{a}; \quad a = \frac{1.2825}{S}; \quad P = 1 - \frac{1}{T} \quad 11$$

Resultados y discusión

La relación entre la intensidad, frecuencia y duración de la sequía en la localidad estudiada se representa gráficamente en la Figura 1. En la misma se observa que los periodos de retorno de 7, 9, 14 y 28 años tienen una configuración convexa decreciente bien definida; mientras que los periodos de 1 y 2 años manifiestan una disposición cóncava decreciente. Es notorio que en la duración de 3 años la forma de la curva es sinusoidal, lo que indica que se trata de un periodo de transición respecto a los periodos explicados anteriormente.

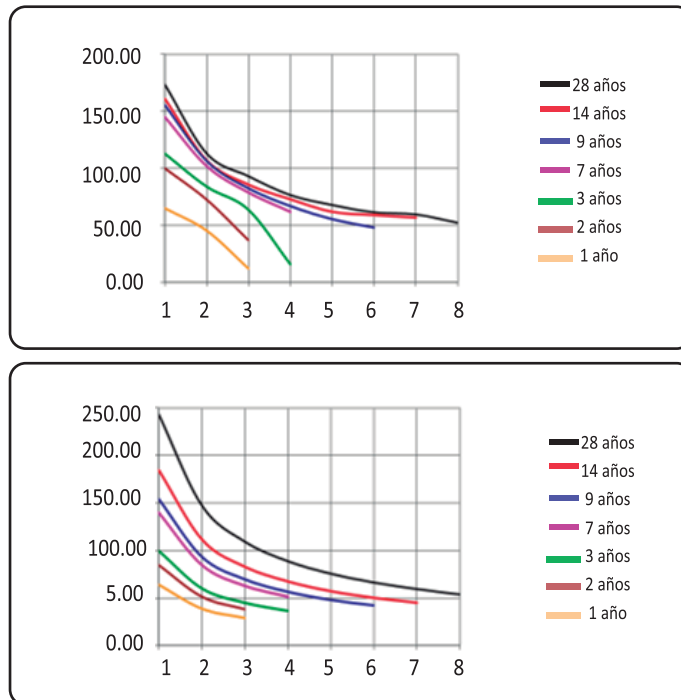


Figura 1. Curvas IDF de sequías: a) datos reales, b) datos ajustados al modelo de Aparicio.

El análisis acerca de la relación funcional entre las variables indicadas en la Tabla 1, también refleja una diferenciación funcional entre los diferentes periodos de retornos. Se obtienen relaciones polinómicas de segundo grado para los periodos de 1 y 2 años; polinómica de tercer grado para el periodo de 3 años y potenciales en el caso de 7, 9, 14 y 28 años (Tabla 1). En todos los casos el coeficiente de determinación es elevado y el error relativo promedio muy bajo, lo que indica un buen ajuste de los datos observados, respecto a estas funciones.

El modelo de Talbot logra en general un adecuado ajuste funcional

en los periodos de 2, 7, 9, 14 y 28 años, con valores aceptables del coeficiente de determinación y el error relativo promedio; no obstante no se recomienda su aplicación con fines predictivos para los periodos de 1 y 3 años (Tabla 2). Este tipo de comportamiento del modelo de Talbot ha sido enunciado por otros investigadores como Remenieras (1974) quien demostró que la hipérbola de Talbot a pesar de ser muy utilizada en curvas de IFD en ocasiones no ofrece un buen ajuste para todos los periodos de retorno a la vez.

En esta investigación se logró un aceptable ajuste de las tres variables de severidad al modelo de Aparicio

Terminación de 0.880 y un error relativo promedio de 16.13 %, lo que garantiza que la ecuación (12) pueda utilizarse adecuadamente en la estimación de la intensidad máxima de la sequía. Con la excepción de la ecuación de Talbot para periodos de retorno de 1 y 2 años, se obtuvo en el resto de las funciones estudiadas, que

la prueba de significación del coeficiente de regresión arroja diferencias estadísticamente significativas para el 95%, con lo cual se corrobora que las mismas proporcionan un buen ajuste.

$$I = \frac{64.0547 D^{0.401}}{D^{0.727}} \quad 12$$

Tabla 1. Funciones polinómicas y potenciales.

T (años)	Funciones matemáticas	r	
1	$I = -6,6828D^2 + 0,1458D + 71,603$	0.9999	0.0000
2	$I = -4,1521D^2 - 14,958D + 118,97$	0.9999	0.0000
3	$I = -6,1366D^3 + 41,314D^2 - 110.09D + 187,75$	0.9999	0.0014
7	$I = 148.85D$	0.9943	0.0330
9	$I = 162.32D$	0.9962	0.0331
14	$I = 158.23D$	0.9966	0.0212
28	$I = 171.07D$	0.9983	0.0188

Tabla 2. Aplicación de la formula de Talbot.

T (años)	Funciones matemáticas	r	ERP
1	$I = 29.113 / -0.820 + D$	0.7237	0.6500
2	$I = 116.195 / -0.023 + D$	0.9494	0.1500
3	$I = 59.227 / -1.013 + D$	0.5617	10.4500
7	$I = 326.649 / 1.217 + D$	0.9976	0.0130
9	$I = 347.095 / 1.231 + D$	0.9993	0.0050
14	$I = 518.523 / 2.798 + D$	0.9705	0.0060
28	$I = 548.684 / 2.754 + D$	0.9788	0.0500

Las ecuaciones (13) y (14) corresponden a la función de distribución de probabilidad de Gumbel para la intensidad de la sequía (I) y déficit de sequía (Dp) con los correspondientes parámetros de forma y escala ajustados a las condiciones de sequía prevaleciente en la localidad de estudio. Con la utilización de estas

funciones se obtienen los resultados que aparecen en la Tabla 3, a partir de los cuales se puede pronosticar la magnitud de las variables de severidad para valores deseados de probabilidad y periodo de retorno. En la Figura 2 se muestra la representación gráfica de la predicción expuesta.

$$F(I) = 68.072 - \left(\frac{1}{0.0281} \right) \ln \left[\ln \left(\frac{1}{P} \right) \right] \quad F(D_p) = 121.614 - \left(\frac{1}{0.0093} \right) \ln \left[\ln \left(\frac{1}{P} \right) \right]$$

13 14

Tabla 3. Variables de Severidad en función de la probabilidad y el periodo de retorno.

<i>T (años)</i>	<i>P (%)</i>	<i>I (mm/mes)</i>	<i>Dp (mm/mes)</i>
2	50.00	81.10	161.03
5	80.00	121.37	282.90
10	90.00	148.04	363.60
25	96.00	181.73	465.55
50	98.00	206.72	541.19
100	99.00	231.53	616.27
200	99.50	256.25	691.08
500	99.80	288.86	789.77

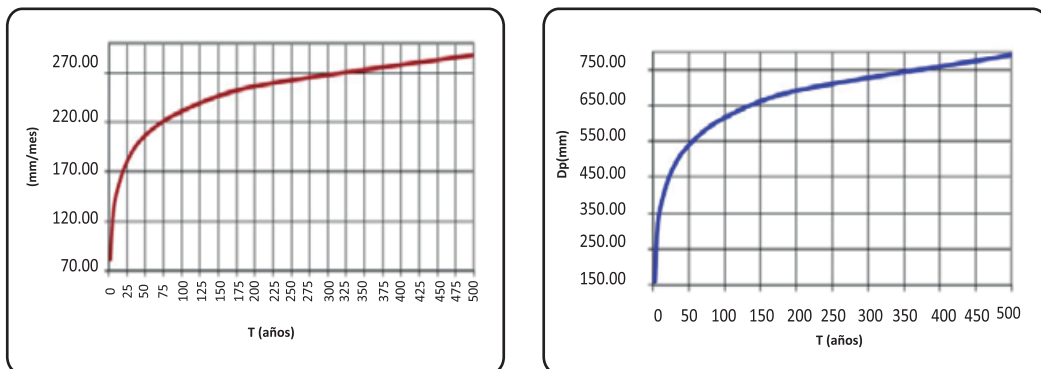


Figura 2. Figuras de la predicción.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que se logra una adecuada estimación de la intensidad máxima de la sequía en función de la duración, a través de

modelos potenciales y polinomiales de segundo y tercer orden. Las ecuaciones de Talbot relacionan acertadamente la intensidad máxima y la duración de la sequía para los periodos de 2, 7, 9, 14 y

28 años; sin embargo lo logra resultados confiables en los periodos de 1 y 3 años. La ecuación de Aparicio establece de forma apropiada la relación funcional entre las tres variables de severidad analizadas de modo instantáneo con un adecuado coeficiente de correlación. En general en todos los casos evaluados se garantiza una acertada estimación y pronóstico de la intensidad máxima de sequía, lo que se favorece mediante la utilización de la función teórica de Gumbel ajustada a las características de la localidad de estudio.

Literatura Citada

- Aparicio, F. 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, Limusa. México.
- Beguiría, S. y A. Lorente. 1999. Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el pirineo aragonés occidental. GEOGRAPHICALIA 37: 17-36.
- Benítez, A. 2002. Curvas de intensidad frecuencia y duración, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile.
- González, E. 2005. Predicción de Sequías en la IV Región. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Chile.
- Mintegui, J. y F. López. 1990. La ordenación Agrohídrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. España.
- Pizarro, R. 2004. Análisis comparativo de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF), en la zona central de Chile". II Seminario Internacional Restauración hidrológico forestal para la conservación y aprovechamiento de aguas y suelos. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Chile.
- Pizarro, R., A. Abarza y J. P. Flores. 2001. Análisis Comparativo de las Curvas IFD en 6 Estaciones Pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Chile.
- Remenieras, G. 1974. Tratado de Hidrología Aplicada, Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España.
- Témez, J. 1978. Cálculo Hidrometeorológico de Caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.
- Villón, M. 2002. Hidrología. Serie de Ingeniería Agrícola. Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.