

CURVAS INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LAS LLUVIAS EN LA SUBCUENCA PLAYITA

INTENSITY DURATION FREQUENCY CURVE OF RAIN IN THE SUBBASIN PLAYITA

Autores: Oscar Brown Manrique¹

Daniel Rodríguez Benítez¹

Luis Valero Freyre²

Institución: ¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

²Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba

Correo electrónico: obrown@unica.cu

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la provincia de Ciego de Ávila con el objetivo de construir las curvas de precipitación frecuencia duración e intensidad frecuencia duración en la subcuenca Playita para diferentes duraciones y períodos de retorno a partir de las ecuaciones de Talbot y USDA. Se realizó preliminarmente la caracterización hidrológica de las precipitaciones anuales y las precipitaciones máximas diarias. Los resultados demostraron que el valor promedio de la precipitación anual y máxima diaria es de 1334,1 mm y 127,7 mm. El pluviómetro más representativo de subcuenca Playita es el CA-722 situado en la estación La Aguadita. Los coeficientes de desagregación determinados para la subcuenca Playita no difieren estadísticamente de los promedios de las cuencas Chambas, Falla, Primero de Enero y los promedios mundiales. Las curvas Precipitación Frecuencia y Duración se ajustan satisfactoriamente al modelo potencial. Las curvas Intensidad Frecuencia y Duración se ajustan adecuadamente a las ecuaciones de Talbot y USDA.

Palabras clave: Duración de la lluvia, Período de retorno, Precipitación máxima.

ABSTRACT

The investigation was developed in the Ciego de Avila province with the objective of building the curves of precipitation duration frequency and intensity duration frequency of the Playita sub basin for different durations and periods of return

¹ Estudiante de la Carrera Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Ciego de Ávila

starting from the equations of Talbot and USDA. Preliminarily was carried out the hydrological characterization of the annual precipitations and the daily maximum precipitations. The results demonstrated that the value average of the annual precipitation and daily maximum is of 1334,1 mm and 127,7 mm. The most representative pluviometer in sub basin is the CA-722 located in the station La Aguadita. The coefficients of distribution for the sub basin don't differ statistically of the averages of the basins Chambas, Falla, Primero de Enero and the world averages. The precipitation duration frequency curve is adjusted satisfactorily to the potential model. The intensity duration frequency curve is adjusted the equations of Talbot and USDA appropriately.

Keywords: Duration of the rain, Period of return, Maximum precipitation.

INTRODUCCIÓN

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 períodos de retorno en una región determinada y proponer índices que contribuyan al estudio de crecidas (Pizarro *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 2013).

Estas curvas constituyen un eslabón fundamental para el diseño y la construcción de obras hidráulicas como drenajes pluviales, presas, embalses y otros. Dichas obras permiten controlar inundaciones, aprovechar los recursos hídricos para generar energía eléctrica y realizar el estudio de la erosión de los suelos, entre otros usos (Acosta y Sierra, 2013). También, son de gran importancia para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos agrícolas a diferentes probabilidades (Fontova y García, 2001; Tarjuelo, 2005).

La intensidad de la lluvia y su duración son características que están interrelacionadas, pues para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia, disminuye su intensidad media. La formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, sobre la base de los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otras zonas próximas con características hidrometeorológicas similares (Barcia y León, 2013). En la provincia de Ciego de Ávila, se han publicado investigaciones realizadas por López y Medida (1987; 1989) en las localidades de Falla, Chambas y Primero de Enero. No obstante,

requieren ser actualizados por los efectos de la variabilidad climática actual. Teniendo en cuenta, lo anteriormente expresado el objetivo del trabajo consiste en construir las curvas precipitación frecuencia duración (PFD) e intensidad frecuencia duración (IFD) de la subcuenca Playita para diferentes duraciones y períodos de retorno en la provincia de Ciego de Ávila.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la subcuenca Playita perteneciente a la cuenca del río Menchaca que se encuentra al noroeste de la ciudad de Ciego de Ávila, tiene un área de 382,265 ha (3,82 km²). Las coordenadas se muestran en la Figura 1 según el Sistema de Coordenadas Cuba Norte GCS_NAD27-CU.

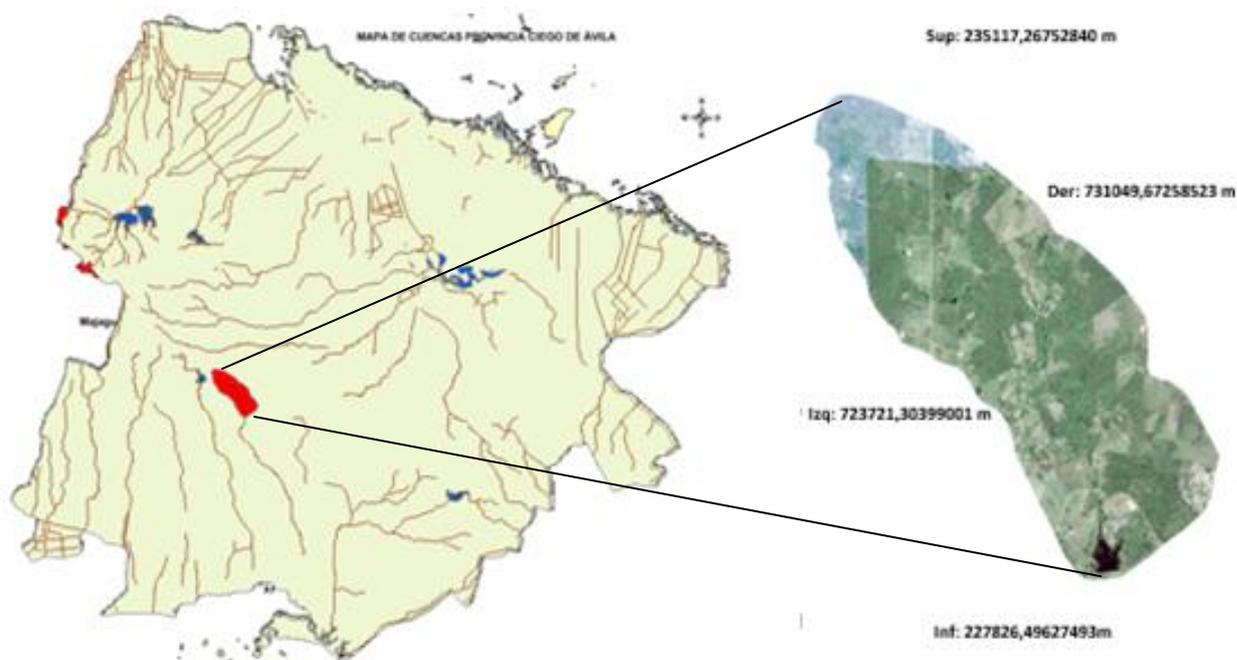


Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca Playita

Se seleccionaron para la subcuenca Playita, las estaciones pluviométricas que están dentro de esta superficie: CA-722; CA-893; CA-894; CA-850 y CA-861. En la selección se tomó como criterio la periodicidad de los datos de precipitación (período 1981-2018) y la magnitud de los registros pluviométricos en el período especificado. En la Tabla 1 se presenta el posicionamiento geográfico del área de estudio.

Tabla 1. Posicionamiento geográfico del área de estudio.

Pluviómetro	Nombre de la estación	Altura (msnm)
CA - 722	La Aguadita	68
CA - 893	Las Margaritas	145
CA - 894	Delegación Recursos Hidráulicos	60
CA - 850	Aeropuerto Ciego de Ávila	40
CA - 861	Tele - Jicotea	70

Los datos pluviométricos e información necesaria para el desarrollo de esta investigación, fueron aportados por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Ciego de Ávila. Los antecedentes solicitados a dicha institución, son los registros de las precipitaciones diarias para las cinco estaciones seleccionadas. Para el completamiento de datos faltantes de la serie de precipitaciones se hizo necesario realizar el completamiento de datos de la serie mediante el método de regresión lineal simple, el cual consiste en suponer la existencia de una relación lineal entre los datos de dos estaciones pluviométricas análogas:

$$P_x = m.P_y + b \quad (1)$$

Dónde:

P_x : es la precipitación de la estación con datos faltantes (mm).

P_y : es la precipitación en la estación auxiliar (mm).

m y b : son parámetros de ajuste correspondientes a la ecuación de la recta.

Se determinó la precipitación media anual y la media de las precipitaciones máximas diarias mediante el método de la media aritmética implementado en el programa informático Microsoft Office Excel 2016. La precipitación promedio correspondiente a los 38 años de la serie se dividió en dos submuestras de 19 años cada una y se determinó la homogeneidad de la serie de precipitación mediante la prueba de hipótesis. Luego, se seleccionó la prueba *F Fisher* la cual se emplea para serie con extensión superior a 30 datos. Posteriormente, se realizó el análisis descriptivo de las precipitaciones para la determinación de los estadígrafos siguientes: media, moda, mediana, error típico, desviación estándar, varianza, máximo y mínimo.

La determinación de los valores de precipitación para distintas duraciones de tormentas menores a 24 horas, a partir de registros de duración diaria de 24 horas se realizó mediante el método de los índices de desagregación o coeficientes de desagregación (Cahuana y Yugar, 2009). En esta investigación se partió de las

precipitaciones máximas para un período de retorno de dos años, previamente ajustado a la distribución Gumbel obtenidas de las curvas de intensidad frecuencia y duración de las precipitaciones en los municipios de Chambas, Bolivia y Primero de Enero (López y Medina, 1987; 1989).

El análisis de varianza se realizó con la ayuda del sistema informático Microsoft Excel 2016 con la opción Análisis de datos. Este procedimiento permitió la comparación entre los coeficientes de desagregación determinados para la subcuenca Playita y los valores promedios de Chambas, Falla y Primero de Enero.

El ajuste de las precipitaciones máximas diarias para diferentes duraciones y períodos de retorno se realizó mediante la función de distribución de Gumbel (Villón, 2012). Las curvas precipitación frecuencia duración (*PDF*) e intensidad frecuencia duración (*IFD*) se construyeron mediante los coeficientes de desagregación promedios K_d a partir de la secuencia de pasos siguientes:

- Actualizar los años de la serie y los valores de precipitaciones máximas en cada año de la serie.
- Obtención de las precipitaciones máximas diarias para diferentes duraciones a partir de los coeficientes de desagregación de la subcuenca Playita.
- Obtención de las precipitaciones máximas diarias para diferentes duraciones y períodos de retorno mediante la distribución Gumbel.
- Dibujar la curva PDF a partir de los valores anteriores con la opción insertar gráfico X Y (dispersión) del *Microsoft Excel* 2016 según figura 2.7.
- Dividir las precipitaciones máximas diarias para diferentes duraciones y períodos de retorno entre las duraciones lo que permitió obtener los valores de intensidad máxima diaria.
- Dibujar la curva IDF a partir de los valores anteriores con la opción insertar gráfico XY (dispersión) del *Microsoft Excel* 2016.

Los datos de las precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno se ajustaron a la ecuación potencial el tipo $I=aD^b$; mientras que los datos de las intensidades máximas se ajustaron a las ecuaciones de Talbot y USDA (Aparicio, 1992) las cuales se escriben de la manera siguiente:

$$I = \frac{a}{b+D} \quad (8)$$

$$a = \frac{1}{b_1} \quad (9)$$

$$b = \frac{a_1}{b_1} \quad (10)$$

$$Y = a_1 X + b_1 \quad (11)$$

$$a_1 = Y_m - b_1 \cdot X_m \quad (12)$$

$$b_1 = \frac{N \cdot \sum (XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N \cdot (\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (13)$$

Donde:

I: Intensidad máxima de la lluvia.

X: Duraciones (*D*)

Y: Inverso de las intensidades (*1/I*)

La ecuación de USDA (Aparicio, 1992) se escribe de la manera siguiente:

$$I = \frac{KT^m}{D^n} \quad (14)$$

Donde:

I: Intensidad máxima de la lluvia.

D: Duraciones.

T: Período de retorno.

m, n: Coeficientes de ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la subcuenca Playita fue necesario el completamiento de datos en tres de los pluviómetros analizados; para ello los datos faltantes se completaron a través de las siguientes ecuaciones de regresión con coeficientes de determinación superior a 0,90:

➤ Pluviómetro CA-861: (12 datos): $P_x = 0,44 \cdot P_y + 741,45$.

➤ Pluviómetro CA-893: (15 datos): $P_x = 0,42 \cdot P_y + 794,98$.

➤ Pluviómetro CA-894: (16 datos): $P_x = 0,81 \cdot P_y + 132,42$.

Los resultados del análisis de las precipitaciones anuales de los pluviómetros dentro de la subcuenca Playita demostraron que el valor promedio hiperanual en un período de 38 años es de 1334,1 mm. El año 1988 fue el más lluvioso con 1761,4 mm y el

más seco correspondió al año 2004 con 819,5 mm. Se obtuvo que el 17 % del total de años analizados presentaron valores de precipitación superiores a los 1600 mm. Los resultados del análisis de las precipitaciones máximas diarias (P_{max}) indicaron que el valor promedio hiperanual es de 127,7 mm. El año 2008 fue el que presentó el mayor valor de precipitación máxima diaria con 368,9 mm y el menor valor se encontró en el año 2004 con 77,3 mm. Se encontró que el 33 % del total de años analizados presentaron registros de precipitaciones máximas diarias superiores a los 120 mm.

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis de homogeneidad de la serie de precipitaciones. Se demostró, mediante la prueba de hipótesis basado en el estadígrafo *F Fisher* que la serie de precipitaciones anuales correspondiente a la subcuenca Playita es homogénea; debido a que el estadígrafo calculado (F) es menor que su valor crítico (F_c) y la probabilidad ($Prob.$) es mayor que el valor de α para el 5 %; por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis de nulidad.

Tabla 2. Prueba *F Fisher* para medias de dos muestras.

Estadígrafos	Submuestra A	Submuestra B
Media.	1301,6	1366,5
Varianza.	41729,9	62841,2
Observaciones.	19,0	19,0
Grados de libertad.	18,0	
Estadístico <i>F</i> .	-0,7	
Valor crítico de F_c (una cola).	1,8	
Valor crítico de F_c (dos colas).	2,1	
Prob. ($F \leq F_c$) dos colas	0,5	

En la Tabla 3 se muestra el resumen del análisis descriptivo de las precipitaciones anuales. Se pudo determinar que el valor promedio más bajo de precipitaciones fue registrado por el pluviómetro CA-894 perteneciente a la estación de la Delegación de Recursos Hidráulicos con 1260,0 mm y el más alto el obtenido en el CA-850 perteneciente a la estación del Aeropuerto Ciego de Ávila con 1392,1 mm. El valor mínimo absoluto de precipitación anual fue registrado en el pluviómetro CA-722 perteneciente a la estación La Aguadita con 596,9 mm y el valor máximo absoluto de precipitación anual fue de 1941,2 mm en el propio pluviómetro CA-722.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las precipitaciones anuales.

Estadígrafos	CA-722	CA-861	CA-850	CA-893	CA-894
Media	1334,9	1329,2	1392,1	1354,1	1260,0
Error típico	58,9	40,6	55,2	41,0	48,8
Mediana	1346,1	1328,3	1311,5	1352,3	1189,3
Desviación estándar	322,4	222,6	302,5	224,5	267,4
Varianza de la muestra	103963,7	49566,4	91476,5	50406,4	71496,5
Curtosis	0,1	-0,3	-0,9	0,1	-0,7
Coefficiente de asimetría	-0,1	-0,2	0,3	-0,4	0,4
Rango	1344,3	898,1	1059,1	980,3	973,8
Mínimo	596,9	825,8	890,8	800,0	775,8
Máximo	1941,2	1723,9	1949,9	1780,3	1749,6

En la Tabla 4 se muestra el resumen del análisis descriptivo de las precipitaciones máximas diarias. Se pudo comprobar que el valor promedio más bajo de precipitaciones fue registrado por el pluviómetro CA-894 con 116,7 mm. El valor más elevado se encontró en el CA-722 con 136,3 mm; no obstante, el valor absoluto más bajo fue de 60,5 mm en pluviómetro CA-722 y el valor absoluto más elevado fue de 400,3 mm en el propio pluviómetro CA-722.

Tabla 4. Estadística descriptiva de las precipitaciones máximas diarias.

Estadígrafos	CA-722	CA-861	CA-850	CA-893	CA-894
Media	136,3	129,0	129,6	127,1	116,7
Error típico	14,1	11,0	19,1	9,1	7,9
Mediana	115,5	113,4	106,9	117,8	108,4
Desviación estándar	77,2	60,3	104,4	49,8	43,3
Varianza de la muestra	5964,6	3636,3	10898,7	2479,0	1871,0
Curtosis	4,3	4,1	20,3	3,4	12,8
Coefficiente de asimetría	2,0	2,0	4,2	1,8	3,1
Rango	339,8	268,4	579,6	212,0	239,0
Mínimo	60,5	71,2	56,6	68,0	67,7
Máximo	400,3	339,6	636,2	280,0	306,7

En la Tabla 5 se demuestra mediante el análisis de varianza que no existen diferencias estadísticas entre los valores de precipitaciones anuales registradas en los cuatro pluviómetros analizados. Esto se comprobó a través de los resultados de estadígrafo F que resultó ser inferior a su valor crítico (F_c).

Tabla 5. Valores del estadígrafo F y probabilidad del análisis de varianza.

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Prob.	F_c
----------------------------------	-----------	-----------	-----------	----------	--------------	-------------------------

Entre grupos	278251,1	4,0	69562,8	0,9	0,4	2,4
Dentro de los grupos	10640374,9	145,0	73381,9			
Total	10918626,0	149,0				

En Tabla 6 se demuestra a través de los criterios del error absoluto (E_a) y el error relativo (E_r) que el pluviómetro más representativo de la subcuenca es el CA-722 situado en la estación La Aguadita debido a que su valor promedio anual es el más cercano a la media hiperanual. Este obtuvo los valores más bajo de error absoluto y el error relativo con 0,82 mm y 0,06 % respectivamente.

Tabla 6. Errores absoluto y relativo.

Pluviómetros	P (mm)	E_a (mm)	E_r (%)
CA-722	1334,9	0,82	0,06
CA-861	1329,2	4,88	0,37
CA-850	1392,1	58,02	4,17
CA-893	1354,1	20,07	1,48
CA-894	1260,0	74,04	5,88
Promedio (mm)	1334,1		

En la tabla 7 se muestran los valores de los coeficientes de desagregación de las cuencas Chambas, Falla, Primero de Enero y los promedios mundiales obtenidos de diferentes cuencas internacionales, con los cuales se determinaron los K_d de la subcuenca Playita.

Tabla 7 Valores de coeficientes de desagregación.

K_d (Chambas)	K_d (Falla)	K_d (P. Enero)	K_d (Mundial)	K_d (Playita)
0,26	0,31	0,32	0,38	0,32
0,46	0,53	0,54	0,57	0,53
0,63	0,69	0,70	0,71	0,68
0,78	0,82	0,83	0,82	0,81
0,90	0,92	0,92	0,91	0,91
0,71	0,78	0,79	0,76	0,76
0,76	0,85	0,86	0,68	0,79
0,95	0,97	0,97	0,75	0,91
0,96	0,98	0,98	0,79	0,93
0,97	0,98	0,99	0,83	0,94
1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

En la Tabla 8 se comprueba que no existen diferencias estadísticas entre los coeficientes de desagregación analizados debido a que el valor del estadígrafo F resultó ser inferior a su valor crítico (F_c). En este sentido, es confiable la utilización

de los coeficientes encontrados para la subcuenca Playita en la estimación de las precipitaciones diarias para diferentes duraciones.

Tabla 8. Estadígrafo F y probabilidad para la prueba ANOVA.

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Prob.	F_c
Entre grupos	0,03	4,00	0,01	0,15	0,96	2,56
Dentro de los grupos	2,62	50,00	0,05			
Total	2,65	54,00				

En la Tabla 9 se observan los valores del período de retorno (T) para 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años correspondientes a las precipitaciones máximas diarias y diferentes duraciones (D) 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 60 minutos, ajustadas a la distribución de Gumbel. Este resultado es de gran utilidad para el desarrollo de diferentes cálculos hidrológicos relacionados con la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones y particularmente para la construcción de las curvas PFD e IFD.

Tabla 9. Período de retorno de las precipitaciones máximas diarias.

D (min)	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	50 años	100 años
5	25,8	36,8	44,1	51,1	55,1	60,2	66,9
10	42,8	61,1	73,2	84,8	91,5	99,8	111,1
15	55,7	79,5	95,2	110,3	119,0	129,9	144,6
20	65,8	94,0	112,6	130,5	140,8	153,7	171,0
25	74,1	105,8	126,8	147,0	158,5	173,0	192,6
30	81,3	116,1	139,1	161,2	173,9	189,8	211,2
60	107,2	153,0	183,3	212,4	229,1	250,1	278,3

En la Figura 2 se muestra la familia de curvas que relaciona la precipitación máxima diaria con la duración y el período de retorno en la subcuenca Playita. Se observa que los datos de duración en minutos y precipitaciones en mm/h para un determinado período de retorno se ajustan excelentemente a la ecuación potencial $I=aT^b$. Se encontró que el coeficiente a se incrementa en la medida que aumenta el período de retorno; mientras que el coeficiente b se mantiene constante con un valor positivo de 0,579.

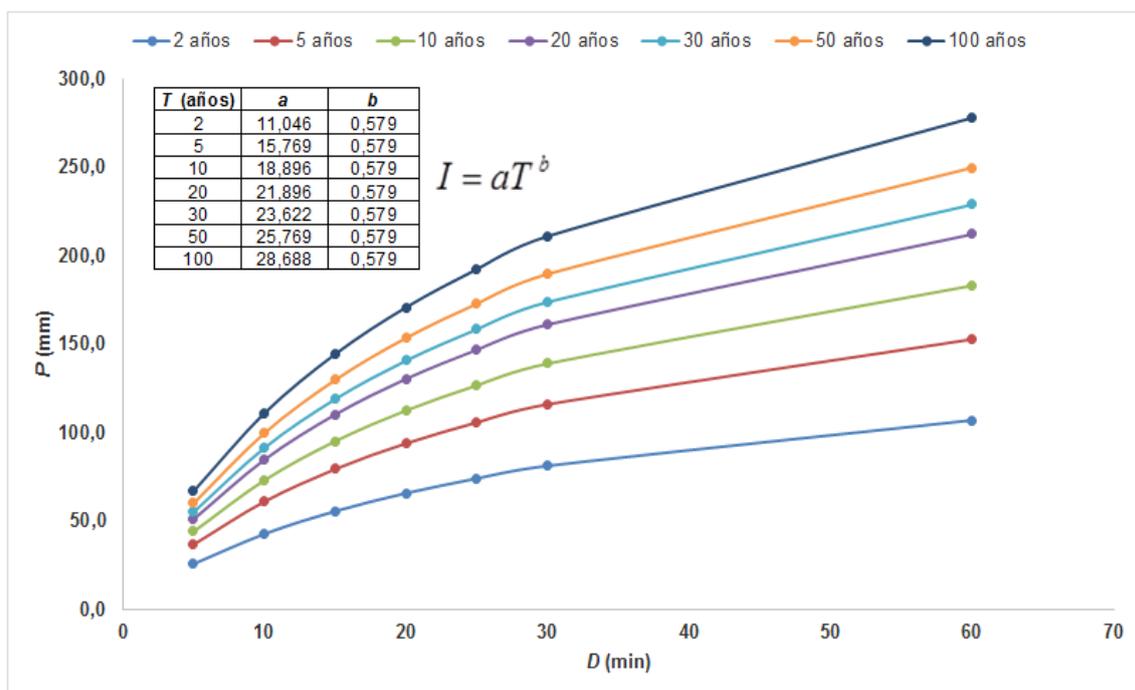


Figura 2. Curva PFD de la subcuenca Playita en el período de 1981-2018.

En la Figura 3 se presentan las curvas IFD de la subcuenca Playita, obtenidas a partir de la ecuación de Talbot con la cual se logró un ajuste excelente entre la duración en minutos y las precipitaciones en mm/h para un determinado período de retorno expresado mediante un coeficiente de determinación con valor de 0,999. En la Figura 4 se muestran las curvas IFD y el valor de los parámetros K , m y n del modelo propuesto por el USDA el cual tiene también un coeficiente de determinación muy elevado de 0,983 lo que indica que puede ser utilizada de forma confiable para estimar la intensidad máxima de las precipitaciones en la subcuenca Playita a partir de la duración en minutos y el período de retorno en años.

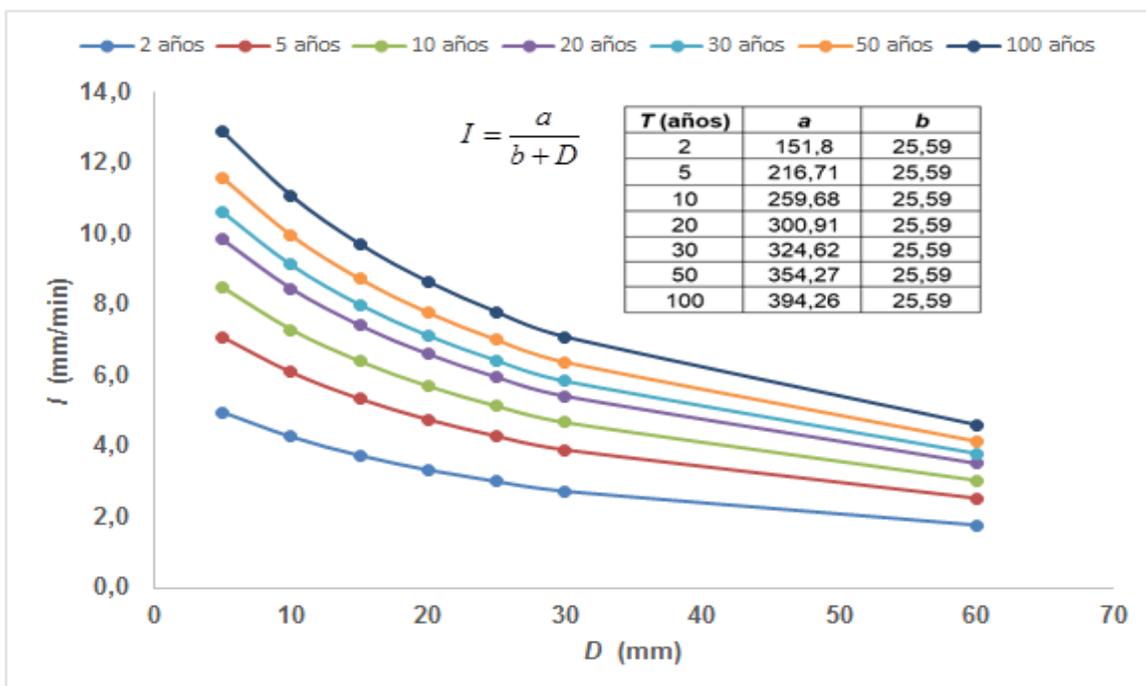


Figura 3 Curva IFD de la subcuenca Playita mediante la ecuación de Talbot.

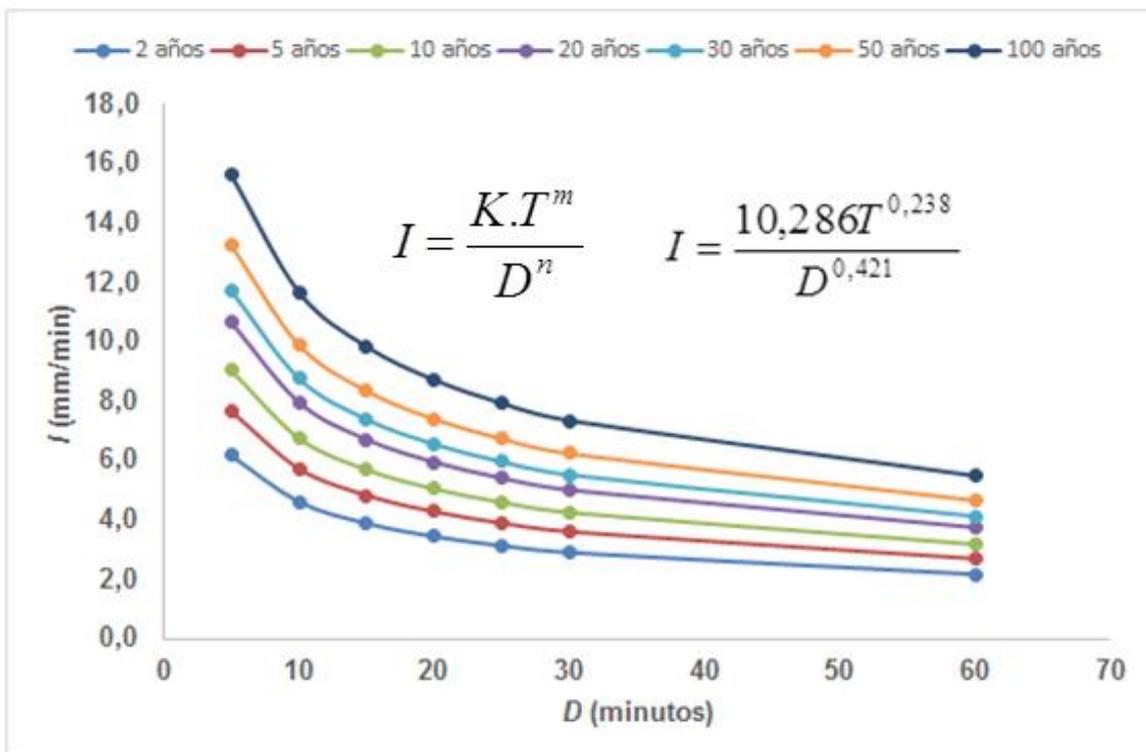


Figura 4. Curva IFD de la subcuenca Playita por la ecuación de USDA.

CONCLUSIONES

- El valor promedio de la precipitación anual y máxima diaria en la subcuenca Playita es de 1334,1 mm y 127,7 mm para el período de 38 años comprendido entre los años 1981 y 2018.
- El pluviómetro más representativo de subcuenca Playita es el CA-722 situado en la estación La Aguadita.
- Los coeficientes de desagregación determinados para la subcuenca Playita no difieren estadísticamente de los promedios de las cuencas Chambas, Falla, Primero de Enero y los promedios mundiales obtenidos de diferentes cuencas internacionales; por lo que son confiables en la estimación de las precipitaciones diarias para diferentes duraciones.
- Las curvas PFD de la subcuenca Playita se ajustan satisfactoriamente al modelo potencial, la ecuación de Talbot y la ecuación del USDA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, P. M., y SIERRA, L. X. (2013). Construction methods' evaluation, from probability distributions and adjustment's parameters. *Revista Facultad de Ingeniería*, UPTC, Vol. 22, No. 35, pp. 25-33.
- APARICIO, F. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México : Editorial Limusa, Balderas, pp. 303.
- BARCIA, S., y LEÓN, O. (2013). Intensity-Duration-Frecuency curve of Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 19, No. 1, pp. 3-12.
- BROWN, O., GALLARDO, Y. y VALDÉS, J. E. (2013). Intensity Duration Frequency curve (IDF) of flooding for the administrative area of Venezuela in the province of Ciego de Ávila, Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 22, No. Esp, pp. 63-67.
- CAHUANA, A. y YUGAR, W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Hidrología CIV-233. DIC. UMSS, Cochabamba, Bolivia, pp.380.
- FONTOVA, M. y GARCÍA, E. (2001). Ingeniería de Riego. La Habana : Ed. Félix Valera, pp.376.

- LÓPEZ, A. y MEDINA, N. (1987). Curvas de Intensidad - Frecuencia - Duración de precipitaciones en Violeta, Ciego de Ávila. *Revista de Ingeniería Hidráulica*. Vol. 8, No. 1, 49-54.
- LÓPEZ, A. y MEDINA, N. (1989). Curvas de Intensidad - Frecuencia - Duración de precipitaciones en la zona de Falla, Ciego de Ávila. *Revista de Ingeniería Hidráulica*. Vol. 8, No. 1, 151-153.
- PIZARRO, R., ABARZA, A. y FLORES, J. P. (2001). Análisis comparativo de las curvas intensidad duración y frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). PHI-LAC. Departamento de Gestión Forestal y Ambiental, Talca, Chile, pp.48.
- TARJUELO, J. M. (2005). *El Riego por Aspersión y su Tecnología*. 3. ed. Barcelona : Ed. Mundi-Prensa, pp.483.
- VILLÓN, M. (2012). HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. *Revista digital Matemática, Educación e Internet*. Vol. 12, No. 2, pp.1-8.