

ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE EVENTOS MÍNIMOS SEMESTRALES Y ANUALES EN LA CUENCA DEL RÍO DAGUA

El análisis de frecuencias consistió en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y estimar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un periodo de retorno dado. La ecuación general para su cálculo es:

Ecuación 1

$$X_t = \mu + K_t \sigma$$

Donde: X_t : Precipitación máxima para el periodo de retorno T , μ , σ : Parámetros de distribución, K_t : Factor de frecuencia, cuyo cálculo depende de cada función de distribución.

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria, mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos.

El AF se realizó a partir de series mínimas de precipitación semestral y anual, obtenidas de la suma móvil de los datos de precipitación mensual del periodo de 1982 a 2011. Éstas se ajustaron las distribuciones de probabilidad (FDP) Gumbel, Log-Normal y Log-Pearson III, y se estimaron los valores mínimos para periodos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 200 años. Como las series empeladas tienen una longitud menor de 30 años, se utilizó Weibull como probabilidad empírica.

Los métodos para evaluar la calidad del ajuste fueron gráficos, por medio del Coeficiente de Correlación de la probabilidad Graficada (CCG), Error Estándar de Ajuste (EEA) y Error Cuadrático Medio (ECM). El primero permite determinar visualmente si los datos ajustan o no a la distribución teórica, el EEA representa la dispersión de los registros de precipitación y estimados, con respecto a los datos y puede ser valorados como un porcentaje con relación a la media de la muestra y el ECM mide el promedio del cuadrado del error, siendo el error el valor en la que el estimador difiere de la cantidad a ser estimada. En la tabla 2 se muestra el

criterio para determinar la prueba de mejor ajuste, la mejor distribución será aquella que represente mejor los datos.

Tabla 1. Criterios decisorios de las pruebas de ajuste.

PRUEBA DE AJUSTE	CRITERIO
CCG	El valor del CCG de la serie analizada se encuentra cercano a uno (1)
EEA	El valor de EEA con respecto a la media muestral no debe ser mayor de un 15%
ECM	El valor de ECM es el de menor magnitud de las distribuciones analizadas

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

LnNormal

Se aplica a variables hidrológicas formada como productos de otras variables. Sin embargo, tiene solamente dos parámetros y los logaritmos de los datos deben ser simétricos alrededor de su media. Para determinar la precipitación mínima para un periodo de retorno, se hace uso de la siguiente expresión:

Ecuación 2

$$\ln(X_T)\hat{\mu}_y + K\hat{\sigma}_y$$

En donde K es llamado factor de frecuencia o variable normal estándar, la cual es hallada matemáticamente con el siguiente polinomio cuyo error es menor a $4.5 \cdot 10^{-4}$, pero para el cual existe una Tabla tabulada.

Ecuación 3

$$K = z = w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,0103128w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3}$$

Donde w es:

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}, \quad p \text{ es la probabilidad de excedencia } (0 < p < 0,5), \quad p = \frac{1}{T}$$

si $p > 0,5$, se reemplaza p por $1-p$ y K se le asigna un signo negativo. Para cualquier periodo de retorno (T), la probabilidad de excedencia es $p = \frac{1}{T}$.

La transformación logarítmica se usa para normalizar la información hidrológica, que varía mucho en orden de magnitud; cuando se trabaja con series de valores extremos, éstos producen asimetría, característica que se ve reducida al utilizar la transformación.

Log-Pearson Tipo III

Para esta distribución, el primer paso es tomar los logaritmos de la información hidrológica, $y = \log x$. usualmente se utilizan logaritmos con base 10. Se calcula la media $\bar{y}$, la desviación estándar s_y y el coeficiente de asimetría C_s para los logaritmos de los datos. El factor de frecuencia dependen del periodo de retorno T y del coeficiente de asimetría C_s . cuando $C_s = 0$ el factor de frecuencia es igual a la variable normal estándar z . cuando $C_s \neq 0$, K_T se aproxima por Kite (1977) como:

Ecuación 4

$$K_t = z + (z^2 - 1) + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)K^2 - (z^2 - 1)K^3 + 2K^4 + \frac{1}{3}K^5$$

Donde

$$K = \frac{C_s}{6}, \quad C_s = \text{coeficiente de asimetria de las serie}$$

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853 w + 0,0103128 w^2}{1 + 1,432788 w + 0,189269 w^2 + 0,001308 w^3}$$

Donde w es:

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}, \quad p \text{ es la probabilidad de excedencia } (0 < p < 0,5), \quad p = \frac{1}{T}$$

Distribución de valores extremos o Gumbel

También llamadas tipo I, II y III; Gumbel (valor extremo I), Frechet (valor extremo II) y Weibull (valor extremo III). Para este estudio se trabaja con Gumbel, en la cual se hace uso de la siguiente expresión, $F(x)$ es la probabilidad de no excedencia, definida a partir del período de retorno como:

Ecuación 5

$$F(x_T) = 1 - \frac{1}{T}$$

La anterior ecuación puede ser expresada usando el factor de frecuencia, cuando se encuentra los parámetros por el método de los momentos, de la siguiente manera:

Ecuación 6

$$x = \hat{\mu} + K \hat{\sigma} .$$

Donde:

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772157 + \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}$$

$$T = \frac{1}{p}$$

Las funciones de distribuciones de probabilidad que presentaron mejor ajuste según los criterios de CCG, EEA y ECM para las series semestrales y anuales de precipitación seleccionadas por cada estación se presentan en la Tabla 2. Para las series semestrales el 100% presentó mejor ajuste a Log-Pearson III mientras que para la anual el 84% se ajustó mejor a Log-Pearson III el 16% restante a log-Normal. Una vez que se seleccionó la distribución de mejor ajuste para cada serie se estimaron los valores mínimos de precipitación esperados para los tiempos de retorno seleccionados, los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Función de distribución de probabilidad de mejor ajuste

Estación	Distribución de mejor ajuste	
	serie semestral	serie Anual
Apto Buenaventura	LogPearson III (100%)	LogPearsonIII (84%)
Aguacatal		
Alto Anchicaya		
Bosques Yotoco		
Brasilia		
Dagua		
Dapa		
El Tigre		
La Cumbre		
La Teresita		
Ocache		
Provincia		
San Pablo		
Santa Ines		
Triana		
Villa Maria		
Buenos Aires		Log-Normal (16%)
Julio Fernanz		
Lobo Guerrero		

El método de distribución Log-Pearson Tipo III, es una función muy adaptable para la estimación de periodos de retorno de eventos mínimos de precipitación semestral y anual en cuencas torrenciales andinas. El método menos confiable para analizar la probabilidad de frecuencia de series mínimas de precipitación en cuencas torrenciales andinas es Gumbel, para lo que se recomienda no utilizarlo en cuencas que presente características morfométricas y meteorológicas similares a la cuenca del río Dagua. El método Log-Normal se puede utilizar en algunos casos como método comparativo a los resultados que se puedan tener con Log-Pearson Tipo III.

Tabla 3. Tendencia general para las series analizadas (tr en años).

Estación	Tr (años) / P (mm)						
	5	10	20	30	50	100	200
Aeropuerto Buenaventura	2337	2215	2122	2075	2023	1961	1906
	5735	5361	5040	4870	4670	4421	4191
Aguacatal	368	321	284	265	243	218	196
	862	756	670	626	576	517	464
Alto Anchicayá	1092	974	877	827	770	701	640
	2561	2416	2300	2242	2175	2094	2021
Bosques de Yotoco	456	429	410	401	391	380	371
	1081	989	912	873	827	770	720
Brasilia	450	408	376	360	341	319	300
	1076	968	880	835	784	722	667
Buenos Aires	462	425	398	385	370	353	339
	1111	1029	966	935	900	859	822
Dagua	365	329	301	287	271	252	235
	838	793	762	748	734	718	706
Dapa	383	325	280	257	232	203	178
	926	857	806	782	755	723	697
El Tigre	1646	1442	1301	1235	1165	1086	1021
	4163	3738	3445	3311	3168	3008	2878
Julio Fernández	368	326	293	277	258	235	215
	873	814	769	746	720	690	663
La Cumbre	382	350	325	314	300	285	272
	883	814	761	736	707	674	645
La Teresita	551	502	464	445	424	398	376
	1293	1190	1110	1070	1025	971	925
Loboguerrero	225	192	167	154	140	124	110
	553	498	457	437	415	389	367
Ocache	384	341	307	289	270	246	225
	922	842	777	744	706	660	619
Providencia	266	219	185	170	154	136	121
	624	522	450	416	379	338	303
San Pablo	381	292	228	198	167	133	107
	915	718	571	502	429	347	282
Santa Inés	345	302	269	252	233	211	192
	854	775	711	679	642	598	559
Triana	2423	2212	2033	1939	1829	1692	1569
	5659	5337	5079	4947	4795	4611	4446
Villa María	348	321	302	293	283	272	262
	827	757	703	676	646	611	580
SERIE SEMESTRAL					SERIE ANUAL		