

ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES EN MADRID

FEDERICO JOVER (*)

RESUMEN. Se analizan las precipitaciones caídas en Madrid durante los 125 años comprendidos entre 1859 y 1983, comparando los ajustes obtenidos utilizando una curva de Gauss y una logarítmica normal. Para ambas curvas se estudian todos los bloques de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 y 95 años, y se definen las curvas de variación de los coeficientes de regresión, obtenidos al comparar los datos reales con los teóricos deducidos para ambos ajustes, considerando cada bloque como un conjunto y no como una muestra. El ajuste a la curva logarítmica define una sistemática para calcular la moda de pequeños grupos de precipitación. Finalmente se analiza la fiabilidad del método de cálculo de dichas modas.

ABSTRACT. *The precipitation fallen in Madrid during the 125 years comprised between 1859 and 1983 are analyzed, comparing the adjustment obtained by using a Gauss curve and a logarithmical normal. For both curves all blocks of 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 and 95 years are studied. The curves of variation of the regression coefficients obtained by comparing the real values with the theoretic ones are defined. Each block is considered as a set and not as a sample. The fitting to the logarithmical curve defines a system for the calculation of the mode of small groups of precipitation. Finally the fiability of the calculation method of the above mentioned modes are analyzed.*

1. ANTECEDENTES

Para poder profundizar en las relaciones que ligan las precipitaciones y el clima, parece obligado conocer las variaciones de los parámetros que caracterizan las precipitaciones. En todas las series pluviométricas se observa una clara discrepancia entre la media y la mediana, siendo, en general, mayor la primera, lo que hace pensar, para el estudio de poblaciones de precipitaciones, en la aplicación de curvas asimétricas en lugar de la más comúnmente usada curva gaussiana.

2. DATOS DE PARTIDA

Están formados por las series mensuales y anuales de MADRID (Retiro), durante el período comprendido entre los años de 1859 y 1983. En este período sólo faltan los meses de marzo y abril de 1936, de forma que se dispone de un conjunto de 125 años, para las series correspondientes a los meses de enero, febrero, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, y de un conjunto de 124 años para los meses de marzo y abril y para la serie anual.

Estos conjuntos de datos se han clasificado de menor a mayor (Tabla I). En una primera evaluación se obtienen los períodos sin lluvia, la lluvia media, la mediana y el tanto por ciento de la diferencia entre la media y la mediana con respecto a la mediana, para cada conjunto, según se expresa en la Tabla II.

Para este primer cálculo de la mediana se considera el valor de las precipitaciones de los cuatro períodos centrales, si el número de datos es par (para el conjunto de 124 datos se consideran los números de orden 61, 62, 63 y 64), y el valor de los cinco períodos centrales, en el caso de que el número de datos sea impar (para el conjunto de 125 datos se consideran los de número de orden 61, 62, 63, 64 y 65).

Comparando la media con la mediana, vemos que el mes más simétrico (considerando como tal a aquel en el que la diferencia entre la media y la mediana es menor) es el de noviembre, luego hay un conjunto formado por los meses de marzo, abril, mayo, junio y diciembre, en los que la media supera a la mediana en menos del 20 %; los meses de enero, febrero, septiembre y octubre tienen una diferencia comprendida entre el 20 % y el 40 %; por último, los meses menos simétricos son los de julio y agosto, en los que la precipitación es muy baja y la desviación entre la media y la mediana supera el 60 %.

(*) Dr. Ingeniero de Montes. Jefe de Sección del Servicio de Erosión y Sedimentación del Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX).

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

NUMERO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	240.20
2	0.00	0.00	0.00	1.20	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.30	0.70	252.40
3	0.10	0.00	2.80	1.40	6.40	0.80	0.00	0.00	0.00	0.60	0.70	1.00	253.00
4	0.60	0.00	3.00	1.60	8.00	0.80	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.40	258.00
5	1.00	0.00	4.50	1.70	9.10	1.30	0.00	0.00	0.00	2.40	1.70	2.00	260.10
6	1.70	0.00	5.00	2.10	10.00	1.80	0.00	0.00	0.00	2.60	3.20	2.00	284.50
7	2.00	0.00	5.20	2.80	12.80	2.10	0.00	0.00	0.00	3.00	3.70	2.20	285.00
8	2.00	0.60	6.20	3.00	14.40	2.50	0.00	0.00	0.00	3.00	4.50	2.60	286.20
9	2.50	0.70	7.10	3.30	14.70	2.80	0.00	0.00	0.50	3.90	7.10	2.70	295.70
10	2.60	1.20	7.80	3.40	14.80	3.50	0.00	0.00	0.60	4.80	8.60	5.00	299.20
11	2.60	2.30	8.10	3.60	14.90	3.60	0.00	0.00	1.00	5.30	9.00	5.80	300.40
12	2.70	2.60	8.60	4.00	15.00	3.70	0.00	0.00	1.00	5.00	9.60	6.00	300.90
13	3.90	3.30	9.80	4.20	15.00	3.80	0.00	0.00	1.00	6.70	9.90	6.80	303.10
14	4.30	3.40	10.50	4.90	16.00	5.00	0.00	0.00	1.70	7.30	10.00	8.00	305.70
15	4.40	4.70	10.80	5.20	16.10	5.30	0.00	0.00	2.30	8.10	10.10	9.60	306.60
16	4.50	6.00	11.00	5.30	16.10	6.50	0.00	0.00	2.50	8.40	13.00	9.70	312.10
17	4.60	6.00	12.00	6.30	17.80	8.00	0.00	0.00	3.00	10.80	13.00	9.80	313.00
18	4.60	8.00	12.00	7.00	18.30	8.20	0.00	0.00	4.00	11.10	13.00	10.60	316.50
19	4.90	8.40	12.40	7.80	18.30	8.30	0.00	0.00	4.90	12.00	14.00	10.70	319.00
20	5.90	9.20	12.90	9.00	18.40	8.60	0.00	0.10	5.00	12.60	14.40	12.00	322.50
21	6.10	9.40	12.90	11.00	18.80	9.00	0.00	0.20	5.90	13.00	14.90	12.30	327.70
22	6.10	9.80	12.90	11.40	18.80	9.00	0.00	0.20	6.30	14.30	15.00	12.80	328.70
23	6.60	9.90	13.00	12.60	19.10	9.00	0.00	0.40	6.40	14.40	16.10	13.50	331.30
24	7.10	10.20	13.50	13.10	19.60	9.50	0.20	0.40	6.60	14.70	16.50	14.40	338.00
25	7.80	10.40	14.00	14.00	19.90	9.90	0.40	0.70	6.60	15.50	16.80	14.60	338.80
26	8.10	11.70	14.20	15.40	21.10	11.40	0.40	0.70	6.80	15.50	18.90	16.20	348.40
27	8.20	12.90	14.40	15.60	21.20	11.70	0.40	0.80	6.90	16.00	20.00	17.00	349.00
28	9.00	13.30	14.90	15.80	22.50	11.80	0.60	1.00	7.10	16.50	21.20	17.10	349.80
29	10.10	14.00	15.70	17.50	23.00	11.90	0.70	1.00	7.30	17.10	24.00	17.30	350.10
30	10.90	14.10	16.70	17.80	23.00	12.30	1.00	1.00	8.60	17.20	24.60	17.70	354.60
31	11.00	14.20	17.90	18.00	23.00	14.40	1.00	1.00	8.80	17.30	24.70	21.70	354.70
32	11.20	14.40	18.10	18.80	23.50	14.50	1.10	1.10	9.40	19.00	25.00	22.00	355.90
33	11.20	15.30	18.90	18.90	24.00	14.50	1.30	1.30	9.40	19.90	25.30	23.00	358.00
34	12.10	15.40	18.90	19.30	25.00	14.80	1.40	1.50	9.90	21.50	26.20	23.10	360.00
35	12.80	16.00	19.40	20.00	25.70	15.40	1.70	1.90	10.20	22.40	26.90	23.20	362.90
36	13.60	16.30	20.00	22.40	26.70	15.80	1.80	1.90	10.50	23.00	28.00	24.00	367.50
37	13.70	16.50	20.10	24.10	27.40	16.20	2.00	2.00	11.00	23.20	29.10	24.50	368.80
38	13.90	16.50	20.90	24.20	27.60	17.50	2.00	2.00	11.10	23.20	29.20	24.70	370.00
39	14.10	16.60	23.00	24.40	27.80	17.60	2.00	2.00	11.10	23.20	30.30	27.10	371.90
40	14.30	16.60	24.00	24.40	27.80	17.70	2.00	2.10	11.80	23.20	31.20	27.90	373.10
41	15.30	17.00	24.10	26.00	27.80	17.90	2.10	2.10	11.90	23.80	34.90	28.80	375.00
42	17.00	17.00	24.30	26.60	28.40	19.00	2.30	2.10	12.00	24.60	35.90	29.30	377.90
43	17.00	17.50	26.00	27.50	28.90	19.40	2.80	2.20	12.10	24.60	35.90	29.30	381.30
44	17.50	18.50	26.70	27.60	29.90	19.40	3.20	2.40	12.70	26.60	36.00	29.40	383.00
45	17.70	18.60	27.50	27.90	30.40	20.00	3.40	2.40	13.40	27.90	36.50	29.50	383.30
46	17.70	19.10	27.90	28.10	30.60	20.20	3.80	2.60	14.00	28.80	36.70	30.00	384.00
47	18.10	19.40	28.00	28.40	30.60	21.70	3.90	2.60	15.00	29.00	37.80	30.00	384.20
48	20.30	20.20	28.40	29.20	30.70	22.00	3.90	2.70	15.30	31.00	38.40	30.20	386.50
49	21.00	20.50	28.70	29.40	31.20	22.70	3.90	2.70	16.00	32.60	38.70	30.30	389.20
50	21.00	21.00	30.10	29.90	32.00	23.10	4.00	3.00	16.00	33.00	39.00	30.30	391.50
51	21.40	22.50	30.20	30.00	32.60	23.90	4.00	3.50	16.10	33.00	39.10	30.90	393.30
52	21.60	23.40	30.30	31.30	33.20	24.50	4.00	4.40	17.00	33.30	40.50	32.00	393.50
53	21.70	23.80	30.70	32.80	33.80	24.80	4.20	4.60	17.00	33.60	40.60	32.10	393.60
54	22.60	24.00	31.10	33.50	34.00	25.00	4.30	5.30	18.70	33.60	41.00	32.20	394.80
55	23.40	24.20	31.10	34.20	34.00	25.10	4.50	5.40	19.30	34.00	41.70	32.40	398.20
56	24.20	24.40	32.00	35.00	35.00	25.70	4.90	5.50	19.70	35.00	44.00	33.50	399.80
57	25.00	24.50	32.50	35.50	35.10	26.00	5.00	5.50	20.10	35.30	44.60	34.00	400.40
58	25.00	24.90	32.60	35.70	35.70	26.00	5.00	5.70	21.00	36.00	45.20	35.90	402.40
59	25.50	25.00	33.10	37.40	35.90	26.30	5.20	5.70	22.60	37.10	45.40	36.70	403.50
60	25.80	26.40	33.60	37.60	36.00	26.30	5.30	5.80	23.30	37.30	47.20	37.00	404.00
61	26.00	27.00	33.70	38.20	36.00	26.40	5.40	5.90	23.40	37.80	47.40	37.60	404.80
62	26.00	27.30	33.90	38.20	37.30	26.50	5.80	6.10	25.20	38.20	47.70	38.60	406.20
63	26.00	27.80	34.40	40.00	37.60	26.90	6.00	6.20	25.40	38.40	48.00	38.60	416.10
64	27.80	28.00	35.90	40.40	38.00	27.00	6.50	6.40	25.60	40.40	48.60	40.60	418.40
65	28.00	28.00	36.30	40.50	38.30	27.40	6.80	6.40	25.60	41.00	49.10	40.80	418.60
66	29.10	30.20	36.60	40.50	38.30	27.50	6.80	6.40	25.80	41.00	49.40	41.00	421.00
67	30.00	30.30	38.00	42.30	38.70	28.30	6.90	6.60	26.00	41.00	50.20	43.00	422.40
68	30.70	31.70	40.40	43.50	39.00	28.90	7.00	6.70	27.60	43.10	50.40	43.00	423.00
69	31.20	32.10	41.10	43.50	39.30	29.40	7.30	6.70	29.00	44.30	51.80	44.90	423.50
70	31.30	32.50	42.20	43.70	40.00	29.70	7.40	7.20	29.40	45.50	52.00	45.30	425.10
71	31.70	33.20	43.40	46.30	40.20	29.80	7.60	8.00	29.50	45.90	52.10	45.80	430.60
72	34.10	33.50	43.80	47.00	40.40	30.10	7.70	8.00	30.80	48.80	52.40	45.90	435.70
73	34.30	34.00	44.00	47.00	40.50	30.30	7.80	8.50	32.70	50.00	54.10	45.90	433.50
74	34.40	34.10	44.20	47.40	41.00	30.70	8.00	8.70	33.00	50.70	54.30	46.10	445.70
75	35.00	35.70	45.00	48.60	42.00	30.80	8.00	8.80	34.00	51.00	55.00	46.30	451.70
76	35.20	36.30	46.30	50.20	42.70	31.40	8.10	9.00	36.90	51.20	56.00	47.20	453.00

TABLA I. Precipitaciones ordenadas de la Estación Meteorológica Madrid (Retiro).

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

NUMERO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
77	37,40	39,70	46,60	50,30	42,90	33,00	9,10	9,10	38,00	51,90	57,00	47,50	453,00
78	37,60	39,90	47,00	50,30	44,30	34,00	9,10	9,30	38,30	52,00	57,00	47,70	457,30
79	39,40	40,40	47,20	51,90	44,50	34,00	9,20	9,30	39,60	57,00	57,90	49,00	458,00
80	40,20	41,00	47,40	52,00	44,60	35,80	9,20	9,60	39,90	58,50	60,20	49,70	458,30
81	40,40	41,20	48,90	53,00	45,10	36,00	9,70	9,90	40,90	59,60	61,00	50,80	461,00
82	40,90	41,30	49,40	53,90	47,00	37,00	9,70	10,30	41,40	60,00	61,30	50,90	461,90
83	41,40	41,90	49,80	54,30	47,30	37,00	10,20	11,00	42,30	60,10	63,20	51,20	465,60
84	42,70	43,00	51,10	55,40	47,40	38,40	10,30	11,00	42,40	60,60	63,80	53,30	467,40
85	43,70	43,20	51,40	56,60	47,80	38,70	11,00	11,40	43,80	61,00	63,90	54,20	469,50
86	43,80	43,80	52,00	58,00	49,00	39,00	11,10	11,60	45,10	61,90	65,00	55,00	473,80
87	43,80	44,60	52,00	59,50	49,00	39,10	11,50	11,90	45,80	62,00	66,10	55,00	482,00
88	43,80	45,40	52,40	60,90	49,20	39,50	12,00	12,70	46,00	62,80	66,70	55,40	486,60
89	44,00	46,60	52,80	61,90	49,60	40,10	12,30	13,00	46,50	63,00	66,90	55,50	489,60
90	44,70	47,00	52,90	63,00	51,70	40,70	12,60	13,10	47,10	64,60	68,10	57,00	490,10
91	45,00	47,60	53,00	63,00	52,60	40,70	12,90	13,30	47,90	64,80	70,20	57,20	491,60
92	46,30	47,00	54,00	63,90	53,00	40,80	13,40	13,80	51,00	65,80	71,50	57,30	498,50
93	46,60	48,00	54,40	64,50	56,00	41,00	13,70	13,90	54,10	68,00	71,90	59,90	504,70
94	48,00	49,10	55,60	66,40	57,40	43,10	13,90	14,00	54,80	68,00	72,40	60,00	505,50
95	48,70	51,30	55,60	66,70	59,00	43,50	14,30	14,00	54,80	68,20	72,80	60,60	507,30
96	49,00	52,20	58,50	67,00	59,30	46,00	15,00	14,20	55,10	73,00	75,90	61,30	506,40
97	49,40	53,10	62,20	67,10	60,70	46,50	15,10	14,40	55,20	73,50	76,90	64,00	509,00
98	49,50	54,70	62,90	67,50	60,90	46,80	15,20	14,60	56,10	75,50	77,50	64,90	511,70
99	51,00	59,50	63,30	68,60	62,40	48,30	15,50	15,00	57,90	79,60	79,50	65,00	513,80
100	51,40	62,00	64,00	68,60	63,40	51,50	15,80	15,10	59,90	80,00	79,50	68,30	513,80
101	52,90	63,90	65,00	70,10	63,90	51,70	16,00	15,30	60,30	81,50	80,80	68,70	515,00
102	52,90	65,00	65,10	71,40	66,20	52,30	16,20	15,80	60,60	82,90	81,50	69,60	516,90
103	58,30	66,20	66,00	72,50	66,80	52,70	16,40	15,90	63,50	83,00	83,10	72,00	517,00
104	58,70	66,20	67,00	72,70	67,80	53,00	16,50	16,00	64,00	83,60	86,20	75,60	528,80
105	59,00	67,80	67,80	73,80	70,00	53,10	17,40	17,20	64,00	84,00	87,10	75,80	531,20
106	63,50	69,30	68,30	74,00	70,90	53,70	18,00	22,60	67,00	84,70	87,30	77,40	535,40
107	64,80	70,30	68,80	74,00	71,10	56,40	19,10	23,00	69,00	85,80	87,40	77,80	537,20
108	66,90	73,70	71,00	74,30	71,20	57,40	20,20	23,20	69,00	86,10	88,10	78,20	539,40
109	67,50	74,10	73,00	76,10	71,80	58,10	20,30	25,00	72,30	89,10	93,00	79,00	549,30
110	70,10	75,10	73,10	76,90	72,50	58,80	20,90	25,70	72,30	89,60	96,60	81,50	552,30
111	71,00	79,00	73,30	77,10	73,80	59,00	21,00	26,00	79,40	91,30	100,20	83,10	558,00
112	74,90	81,60	75,00	77,80	76,30	59,40	22,00	27,40	82,60	91,90	101,20	86,00	564,30
113	80,70	82,10	77,50	81,40	78,00	65,00	24,20	28,80	85,00	92,30	104,30	88,90	588,50
114	85,60	86,50	81,00	81,60	82,30	65,80	24,80	30,40	86,50	92,50	104,60	89,90	597,80
115	90,30	87,30	81,40	83,90	82,50	67,00	25,90	31,50	87,00	94,00	105,10	92,50	598,00
116	93,10	88,30	82,30	84,70	83,40	69,80	26,90	34,00	87,30	105,20	106,00	98,60	609,00
117	93,80	91,10	82,90	90,10	83,60	72,20	31,00	38,90	87,50	120,20	107,10	98,70	616,00
118	94,30	91,30	89,10	113,90	84,00	72,40	34,00	41,00	89,90	121,00	108,30	99,40	621,00
119	99,90	100,00	89,10	114,30	84,00	81,20	34,10	48,60	92,00	121,30	112,10	102,40	636,10
120	107,00	109,80	102,00	116,00	103,30	84,10	35,60	48,70	97,90	126,90	114,00	103,60	675,10
121	107,40	113,40	107,60	118,60	105,30	87,80	36,30	50,50	112,10	132,80	124,60	109,70	694,90
122	118,00	113,70	111,30	132,10	106,30	91,90	41,30	55,00	115,10	130,90	130,00	115,70	698,00
123	120,90	123,20	123,00	146,00	118,80	92,60	41,30	56,20	134,90	141,00	137,20	127,90	738,70
124	142,00	128,40	155,00	185,00	132,50	106,00	54,80	73,80	146,00	169,70	191,10	128,20	746,60
125	156,20	142,00	9.999,00	9.999,00	134,90	111,10	119,00	78,00	158,00	170,90	196,60	180,50	9.999,00

TABLA I (Continuación). Precipitaciones ordenadas de la Estación Meteorológica Madrid (Retrol).

PERIODO	N.º DE PERIODOS SIN LLUVIA	MEDIA M	MEDIANA m	$100 \cdot \frac{M - m}{m}$
ENERO	2	35,13	26,88	30,69
FEBRERO	7	36,81	27,62	33,27
MARZO	2	40,49	34,48	17,40
ABRIL	1	43,87	39,20	11,91
MAYO	0	42,96	37,44	14,74
JUNIO	2	31,71	26,84	18,14
JULIO	23	10,06	6,10	64,92
AGOSTO	19	11,03	6,20	77,90
SEPTIEMBRE	8	34,71	25,06	38,08
OCTUBRE	1	48,14	39,18	22,87
NOVIEMBRE	1	52,56	48,16	9,14
DICIEMBRE	0	44,31	39,24	12,92
ANUAL	0	430,98	411,38	4,76

TABLA II.

Se observa, asimismo, que la mediana es siempre inferior a la media; ello indica que la curva de probabilidad es asimétrica y que la moda es menor que la mediana.

3. METODOLOGIA EMPLEADA

Se han comparado dos tipos de curvas, con el fin de estudiar cuál de ellas se ajusta mejor al fenómeno. La primera, que servirá como testigo, es la curva de Gauss, cuya media y desviación típica se calcularán a partir de los datos reales. La segunda es la curva logarítmica normal, de la que se han calculado sus parámetros, también a partir de los datos reales.

Si usamos la curva gaussiana el origen de los datos se desplaza, teóricamente, hacia menos infinito; sin embargo, en el caso de curvas logarítmicas, este origen será cero cuando se utilicen dos parámetros, o el que determinemos usando tres parámetros (estos tres parámetros son, naturalmente, la media, la desviación típica, ambos de los logaritmos de las precipitaciones, y la distancia del

punto de frecuencia cero al origen de coordenadas). Aunque este incremento de parámetros puede suponer un inconveniente para el estudio del conjunto a partir de la muestra, no lo es al analizar la muestra como una población.

4. PRESENTACION DE LOS AJUSTES DE LA SERIE DE 125 AÑOS

Los resultados de los ajustes los hemos agrupado en la Tabla III en tres apartados:

- Número de datos.
- Curva de Gauss.
- Curva logarítmica.

En la primera columna se describen los parámetros analizados. En la segunda, se incluyen los datos anuales y en las doce restantes, los datos de los sucesivos meses del año comenzando por el mes de enero.

En el apartado «Número de datos» se han colocado, en la primera fila, el número total de datos

NUMERO DE DATOS													
CONCEPTO	ANUAL	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DAT. TOT.	124	125	125	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125
DAT. DIF.	123	111	113	115	115	111	115	87	64	106	114	120	116
CURVA DE GAUSS													
CONCEPTO	ANUAL	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MEDIA	431.0	35.1	36.81	40.49	43.87	42.96	31.71	10.06	11.03	34.71	48.14	52.56	44.31
DES. TIP.	106.5	31.4	31.10	27.99	33.00	26.17	23.59	14.27	14.81	33.09	36.79	36.78	32.01
MEDIANA	411.4	26.88	27.62	34.48	39.20	37.44	26.84	6.10	6.20	25.06	39.18	48.16	39.24
REGRES.	0.994	0.9773	0.9778	0.9914	0.9932	0.9823	0.9878	0.9612	0.9425	0.9772	0.9872	0.9936	0.9914
PENDIENTE	0.986	0.9307	0.9787	0.9799	0.9828	0.9494	0.9647	0.9154	0.9532	0.9973	0.9758	0.9685	0.9709
ERROR M.	0.0251	0.0422	0.0491	0.0311	0.0226	0.0439	0.0338	0.1059	0.1123	0.0508	0.0264	0.0272	0.0295
CURVA LOGARITMICA NORMAL													
CONCEPTO	ANUAL	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MED. LOG.	5.8919	3.7825	3.7686	4.3456	4.7017	3.8267	3.9673	2.5964	2.3919	3.6506	4.2424	4.8146	4.4581
DES. LOG.	0.2803	0.5690	0.5945	0.3285	0.2720	0.5008	0.3964	0.6070	0.7732	0.6692	0.4652	0.2733	0.3347
MEDIA	431.0	35.01	36.98	40.42	43.75	43.15	31.66	9.58	10.55	43.82	48.19	52.45	44.23
MEDIANA	416.5	27.29	28.61	36.14	39.60	37.01	27.34	6.87	6.72	25.15	40.24	47.76	39.26
MODA	389.1	15.14	15.71	26.25	31.75	26.83	19.66	2.73	1.78	11.26	26.70	38.89	30.11
DIS. ORIG.	-54.4	+16.63	+14.71	+14.00	+70.53	+8.90	+25.50	+6.55	+4.21	+13.34	+29.34	+75.53	+47.07
REGRES.	0.9987	0.9976	0.9986	0.9970	0.9971	0.9989	0.9986	0.9990	0.9964	0.9955	0.9978	0.9987	0.9988
PENDIENTE	1.0094	1.0393	1.0356	1.0343	1.0222	1.0014	1.0229	1.1280	1.1177	1.0813	1.0393	1.0176	1.0238
ERROR M.	0.0049	0.0152	0.0074	0.0133	0.0180	0.0019	0.0127	0.0449	0.0370	0.0153	0.0062	0.0140	0.0146

TABLA III. Resultados del período de 125 años comprendido entre el año 1858 y el año 1982.

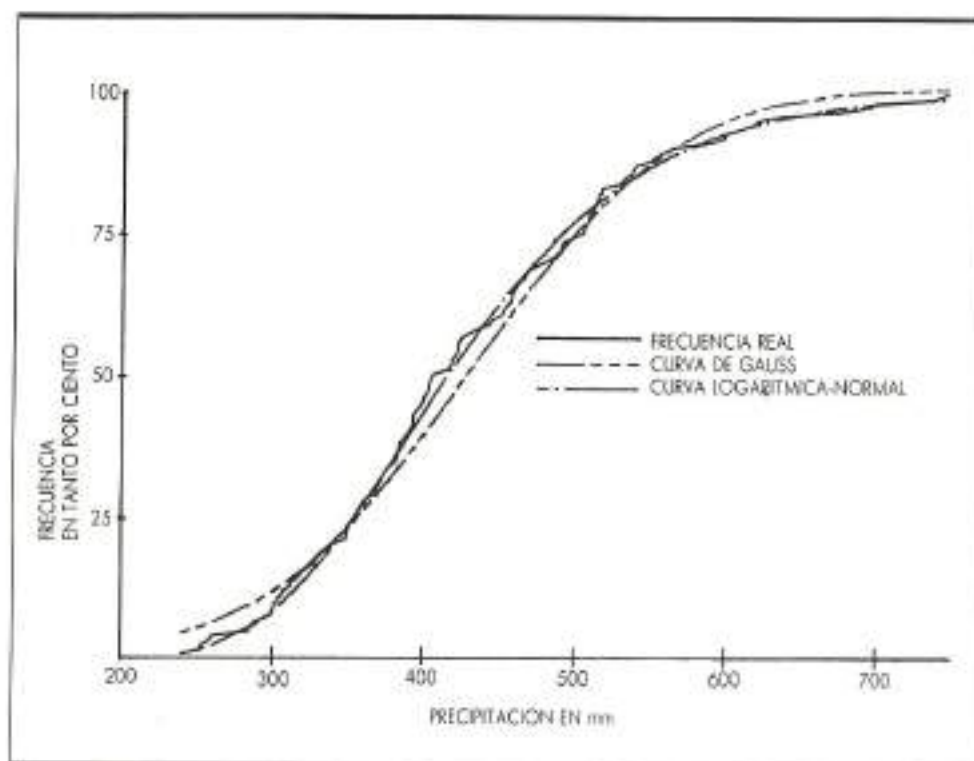


GRÁFICO 1.
Precipitaciones anuales.

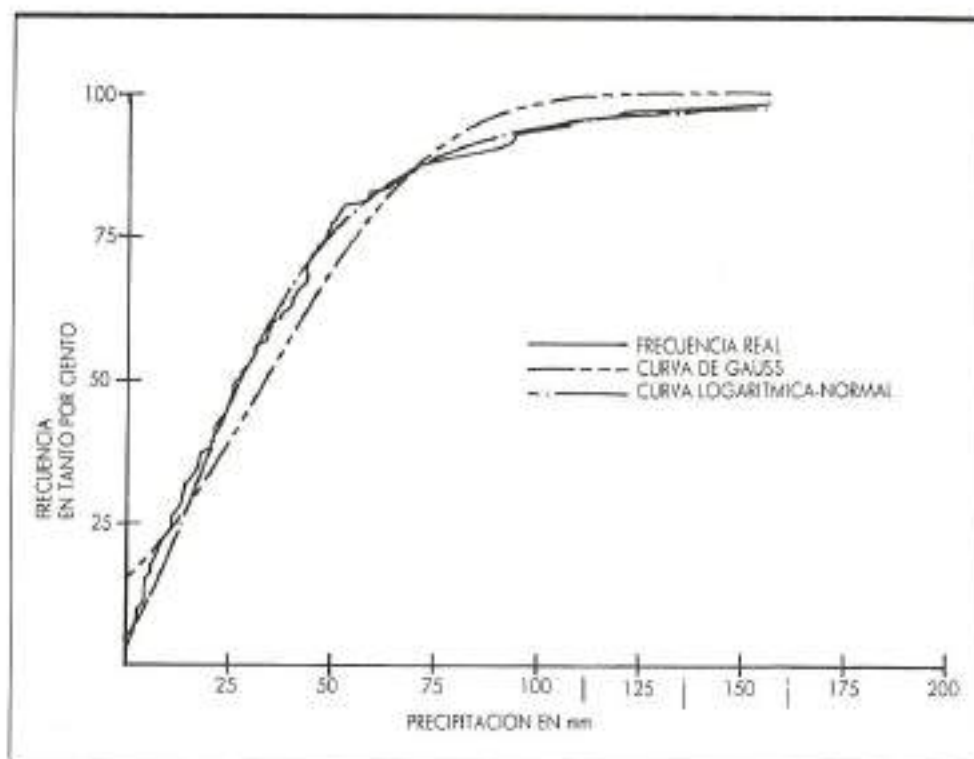


GRÁFICO 2.
Precipitaciones del mes de enero.

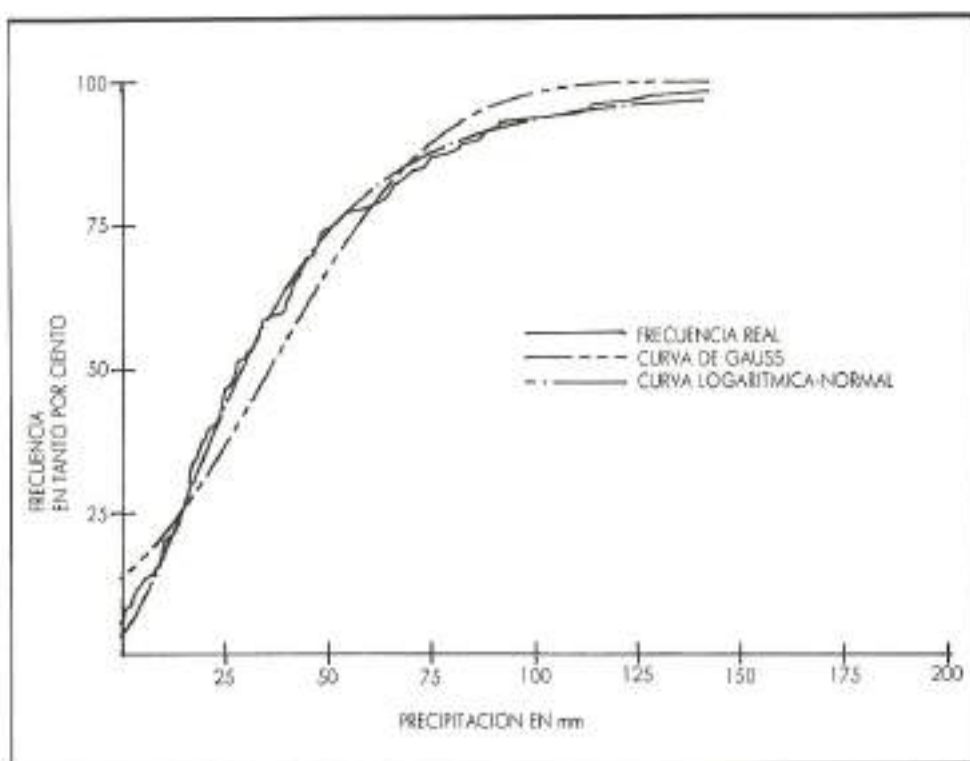


GRÁFICO 3.
Precipitaciones
del mes de febrero.

manejados (DAT. TOT.), y en la segunda fila, el número de datos diferentes (DAT. DIF.).

En el apartado «Curva de Gauss» se incluyen seis filas:

- En la primera (MEDIA) aparece el valor medio calculado como la suma de todos los valores del conjunto dividido por el número de tales valores.
- En la segunda (DES. TIP.) la desviación típica.
- En la tercera (MEDIANA) la mediana, calculada tal como la definimos en el párrafo 3 del apartado 2.
- En la cuarta (REGRES.) aparece el coeficiente de regresión entre los datos reales y los obtenidos de la aplicación de la curva gaussiana.
- En la quinta (PENDIENTE) aparece la pendiente de la curva de regresión.
- En la sexta (ERROR M.) el error medio del ajuste, considerado éste como la suma de todos los valores reales menos todos los valores teóricos, partido todo ello por la suma de todos los valores reales. Cuando este valor es positivo indica que los valores reales son, en conjunto, mayores que los teóricos, y menores cuando el error es negativo.

En el apartado «Curva logarítmica» hay nueve filas:

- En la primera (MED.LOG.) aparece la media logarítmica.
- En la segunda (DES. LOG.) se indica la desviación típica de los logaritmos de las precipitaciones.
- En la tercera (MEDIA) la media de los datos, calculados a partir del ajuste de la curva logarítmica.
- En la cuarta (MEDIANA) la mediana, calculada así mismo a partir del ajuste logarítmico.
- En la quinta (MODA) la moda.
- En la sexta (DIS. ORIG.) la distancia al origen o tercer parámetro. Cuando este parámetro es positivo se entiende que el origen está en las abscisas negativas y viceversa.

Las tres últimas filas son idénticas a las tres últimas del apartado anterior.

4.1. RESULTADOS DEL PERIODO DE 125 AÑOS

El análisis de la Tabla III nos indica:

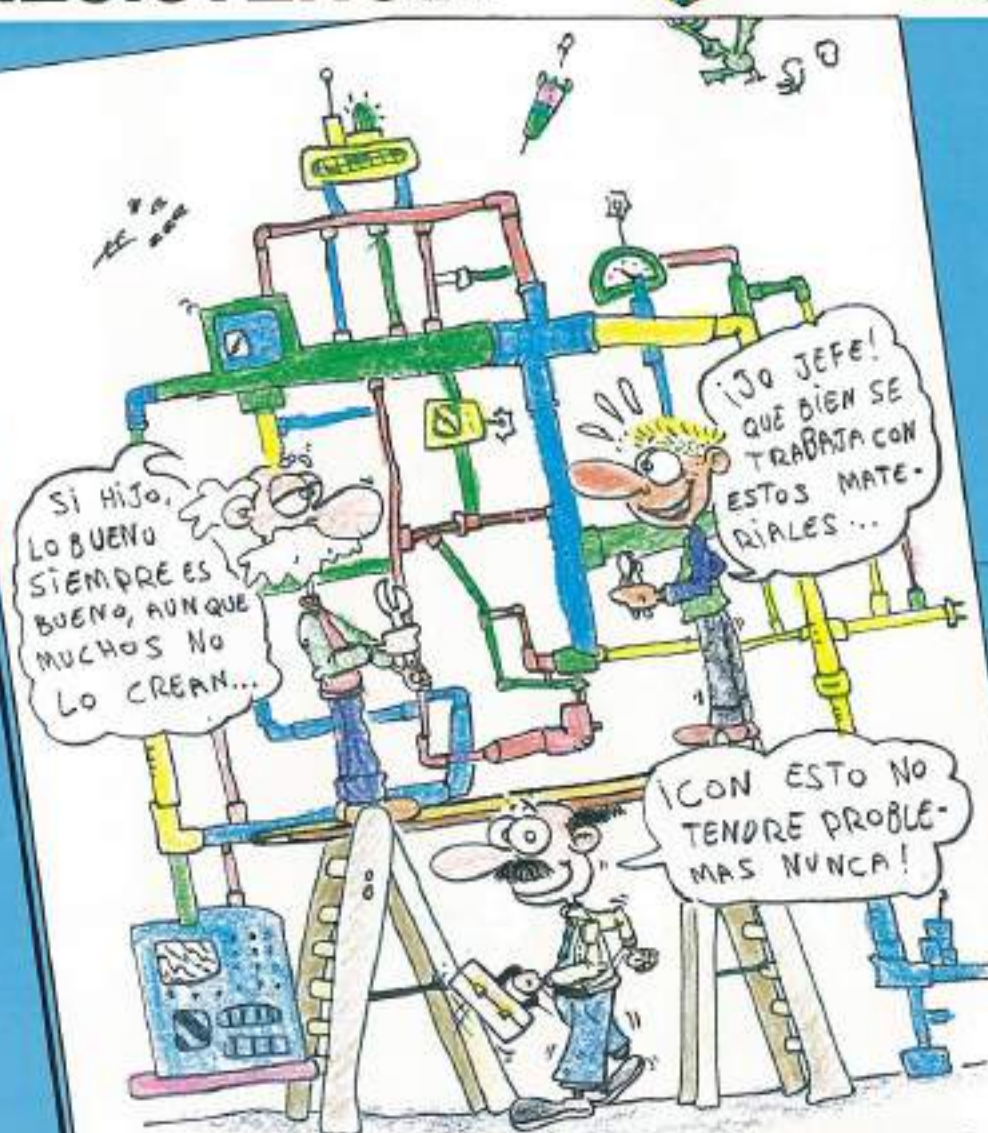
- 1.º En la curva de Gauss el valor de la desviación típica es del orden del valor de la media, excepto en la serie anual, en donde está en el

ASOCIACION DE FABRICANTES DE TUBO DE CONDUCCION Y ACCESORIOS



RESISTENCIA

Y SEGURIDAD



Una entidad creada para promocionar el tubo de acero soldado y su accesorio roscado, PROPORCIONANDO ASESORAMIENTO TECNICO Y GRATUITO al prescriptor y consumidor de instalaciones de conducción de fluidos -líquidos, agua, aire, gas y gas combustible-.

Empresas asociadas

 **AMAT**

 **ARISTRAIN**

 **ARREGUI**

 **ATUSA**

 **CONDESA**

 **CHINCHURRETA**

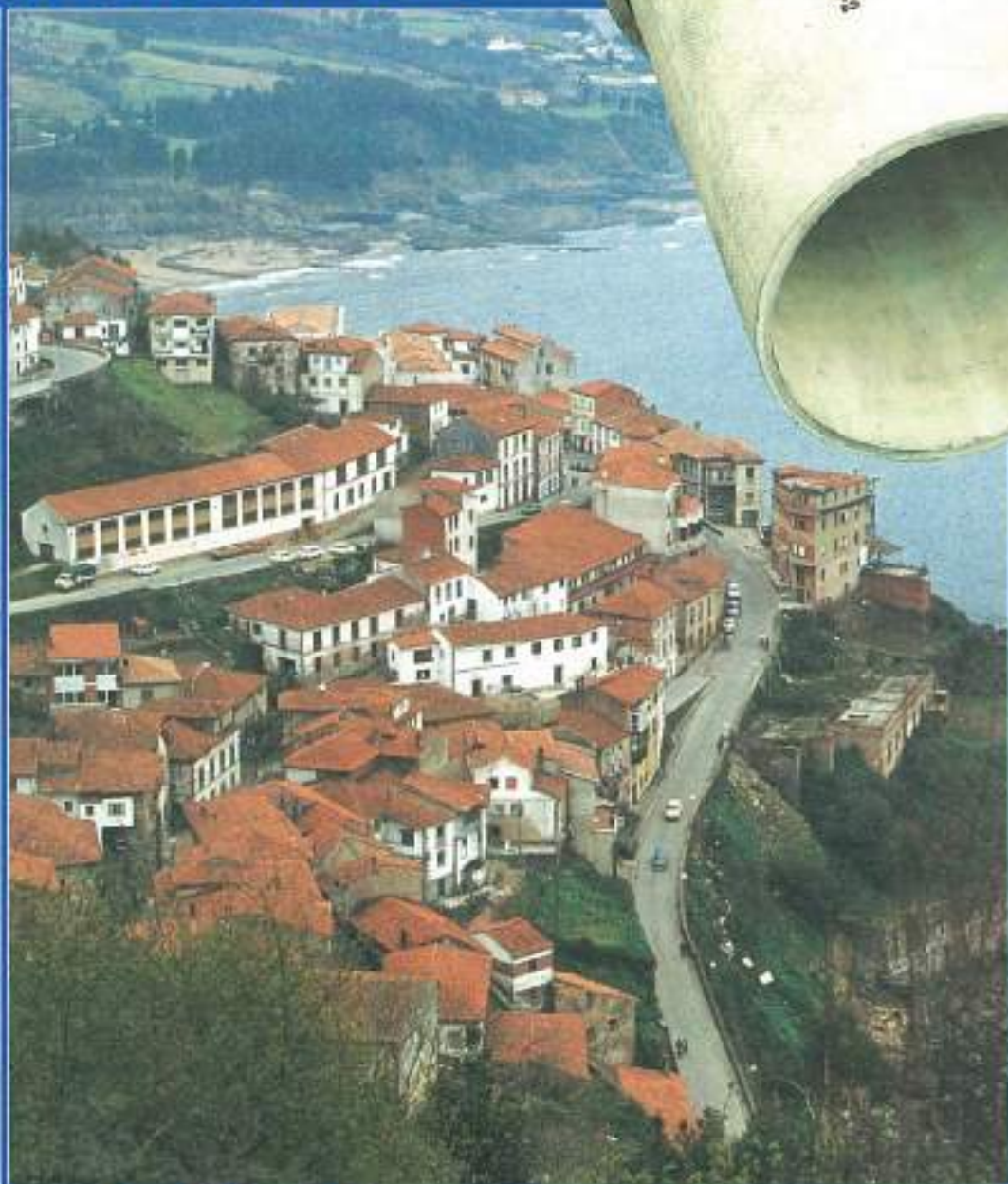
 **GELMA**

 **PERFRISA**

**Atenderemos su consulta
con el mayor interés**



***Protegemos
el entorno...***



...definitivamente.

La conducción de aguas residuales exige unos materiales y una tecnología capaces de garantizar una absoluta protección del entorno.

La experiencia y especialización de FIBROTUBO en la fabricación de tuberías para pequeñas y grandes redes de saneamiento, a las que somete a un riguroso control de calidad, consiguen convertirlas en la solución definitiva.

FIBROTUBO

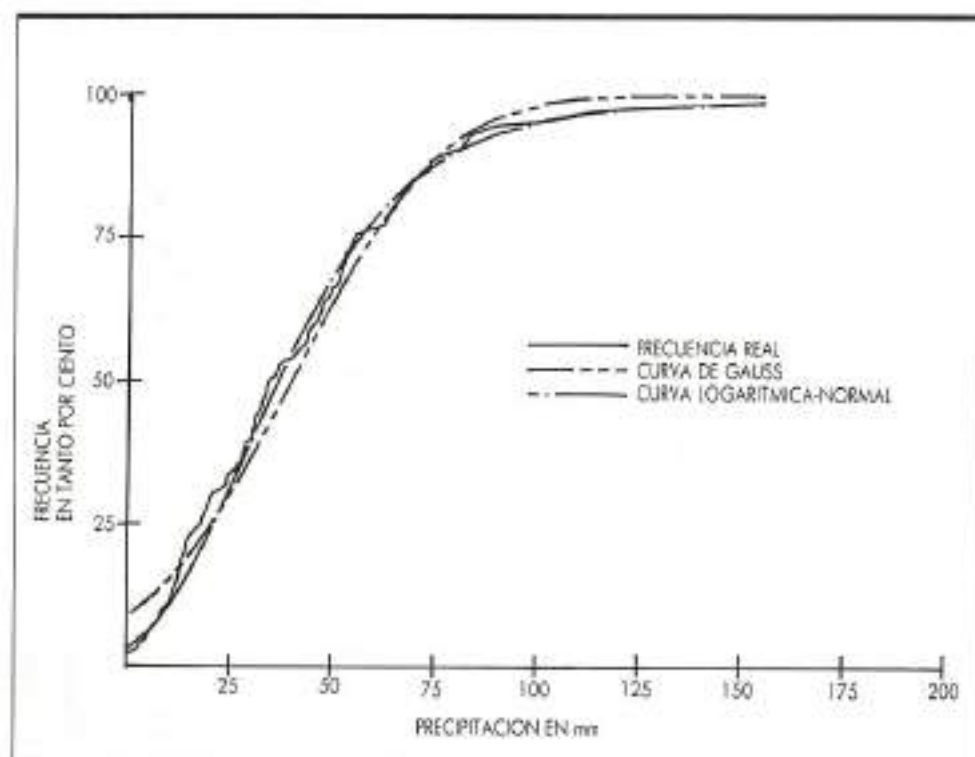


GRAFICO 4.
Precipitaciones
del mes de marzo.

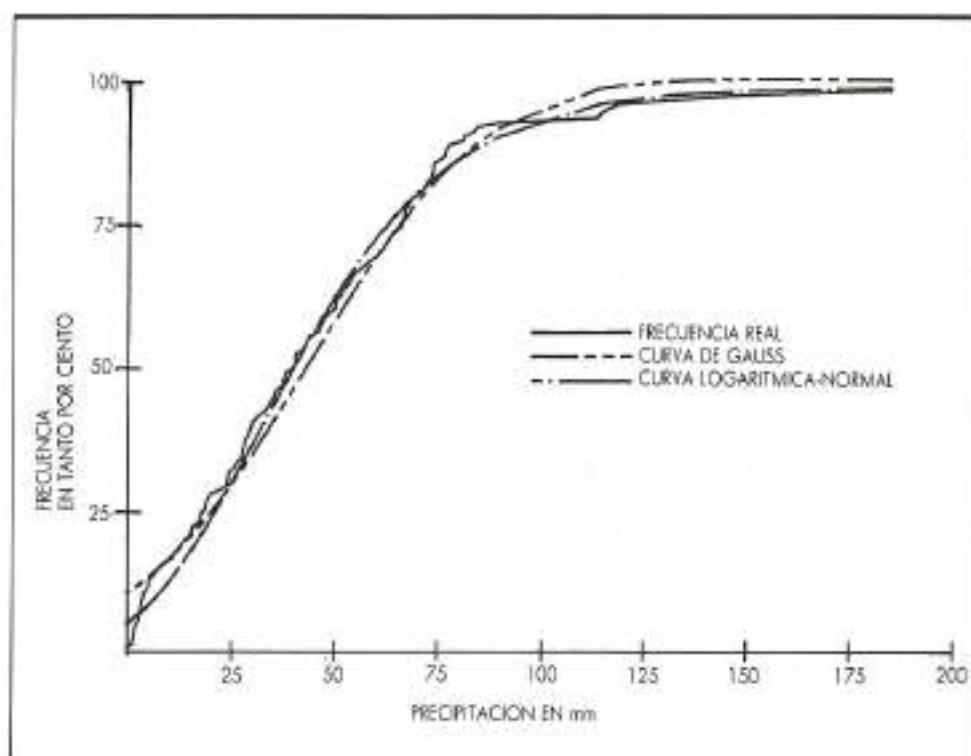


GRAFICO 5.
Precipitaciones
del mes de abril.

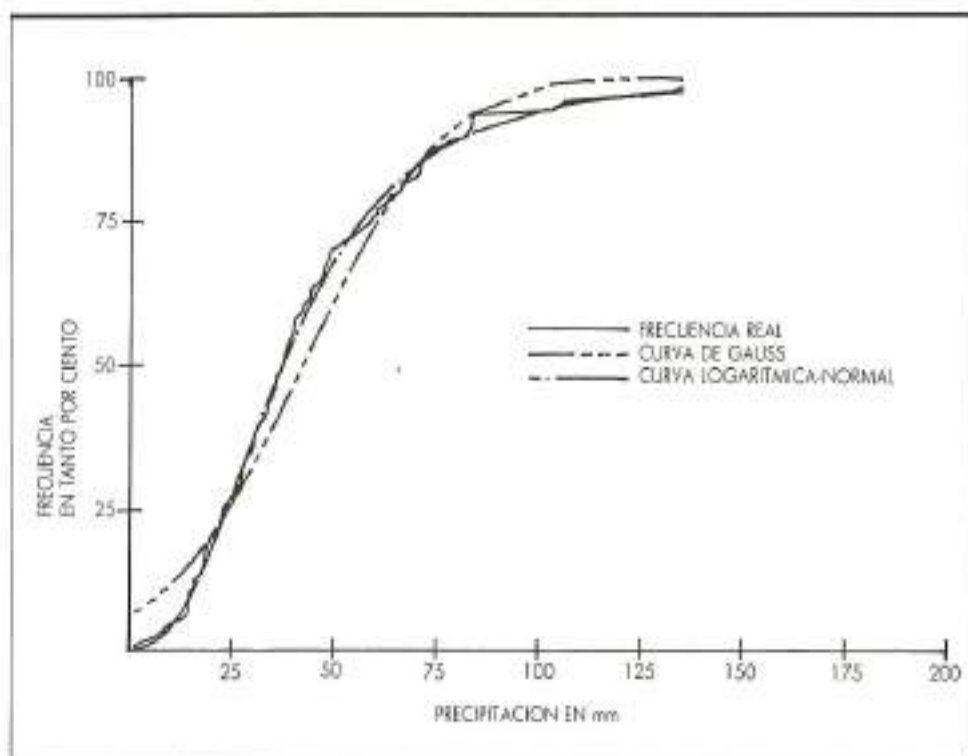


GRÁFICO 6.
Precipitaciones
del mes de mayo.

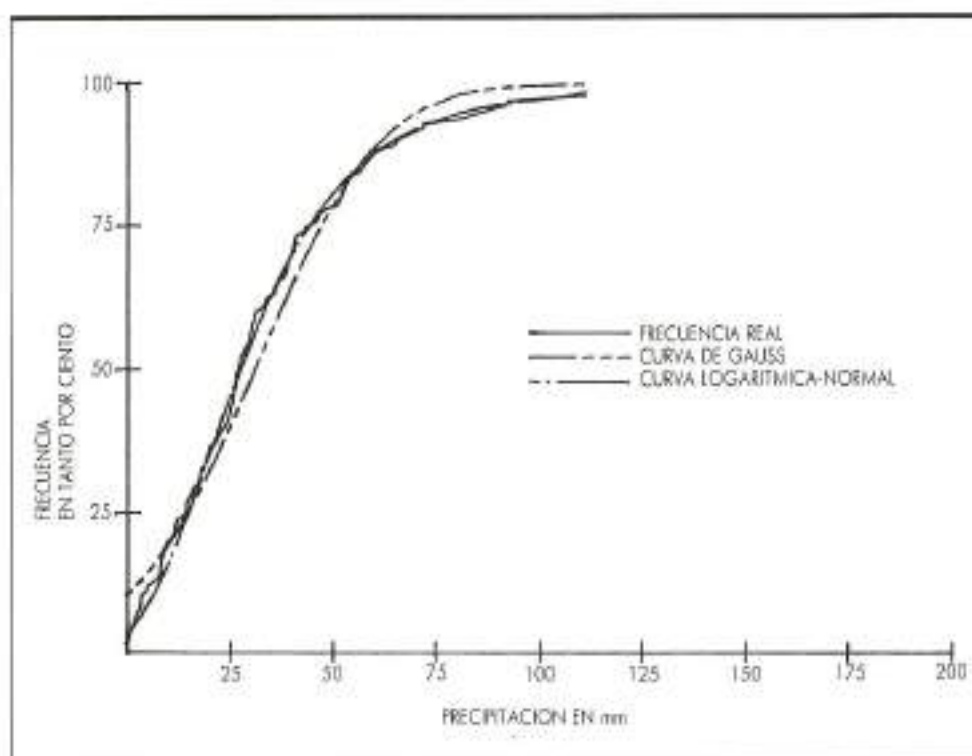


GRÁFICO 7.
Precipitaciones
del mes de junio.

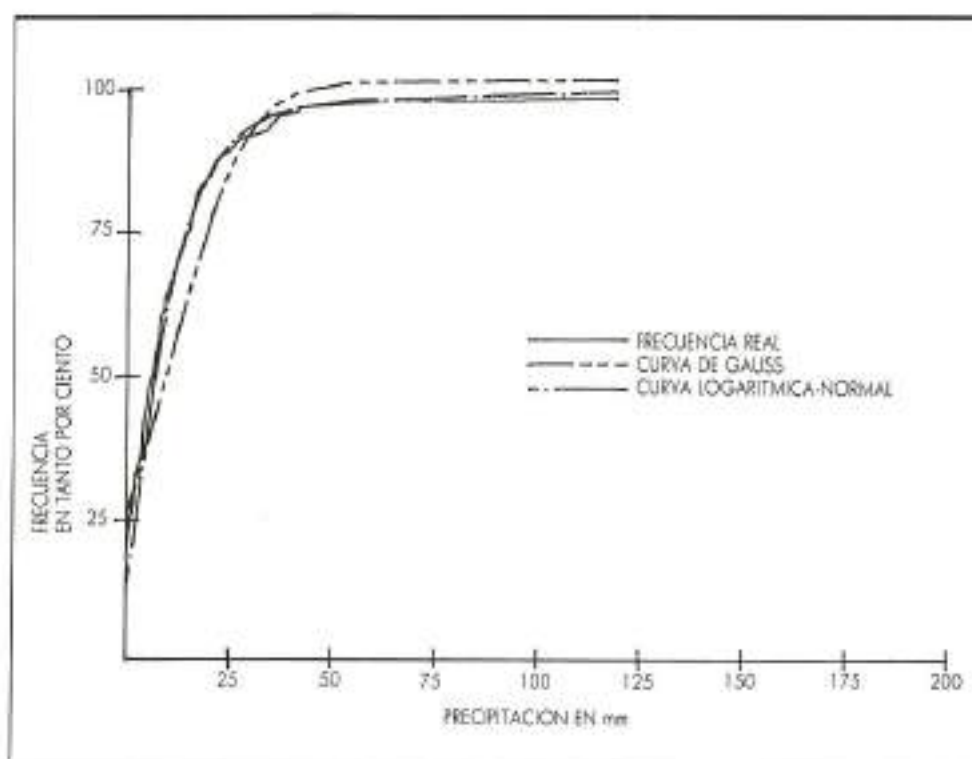


GRÁFICO 8.
Precipitaciones
del mes de julio.

entorno de la cuarta parte de la media, y en los meses de julio y agosto, donde es mayor que el valor de la media.

- 2.° Las medias calculadas directamente y las obtenidas por medio de la curva logarítmica, son sensiblemente iguales, con un error mínimo de 0,009 % para los valores anuales, y un máximo de 5,01 % durante el mes de julio.
- 3.° Las medianas y la moda siguen las mismas vicisitudes que las medias, aunque las diferencias entre los valores de las medianas calculados y los obtenidos a partir de la curva logarítmica se van ampliando.
- 4.° Los coeficientes de regresión en ambas curvas son muy altos, siendo el valor más bajo el del mes de agosto, en la curva de Gauss, con el 94,26 %.
- 5.° Los coeficientes de regresión de las curvas logarítmicas superan siempre el 99,5 %.
- 6.° Las pendientes de las rectas de regresión de la curva de Gauss se aproximan mucho a la uni-

dad, incluso las más alejadas, que corresponden a los meses de julio (0,92) y agosto (0,95).

- 7.° En la curva logarítmica las pendientes más desfavorables se presentan en los meses de julio (1,13), agosto (1,12) y septiembre (1,08).
- 8.° El error medio en la curva de Gauss no supera el 10 %, excepto en los meses de julio y agosto, sobrepasando apenas el 5 % en los restantes meses.
- 9.° En la curva logarítmica el error medio para esos mismos meses es de 4,5 % y 3,7 % respectivamente, no superándose en los restantes casos el 1,8 %.

En los Gráficos 1 al 13 se observa claramente el mejor ajuste de la curva logarítmica sobre la gaussiana para cualquier caso, y que este ajuste es mucho mejor para el caso de los meses con poca precipitación, debido a la mayor asimetría de las precipitaciones en estos meses, por su carácter predominante torrencial.

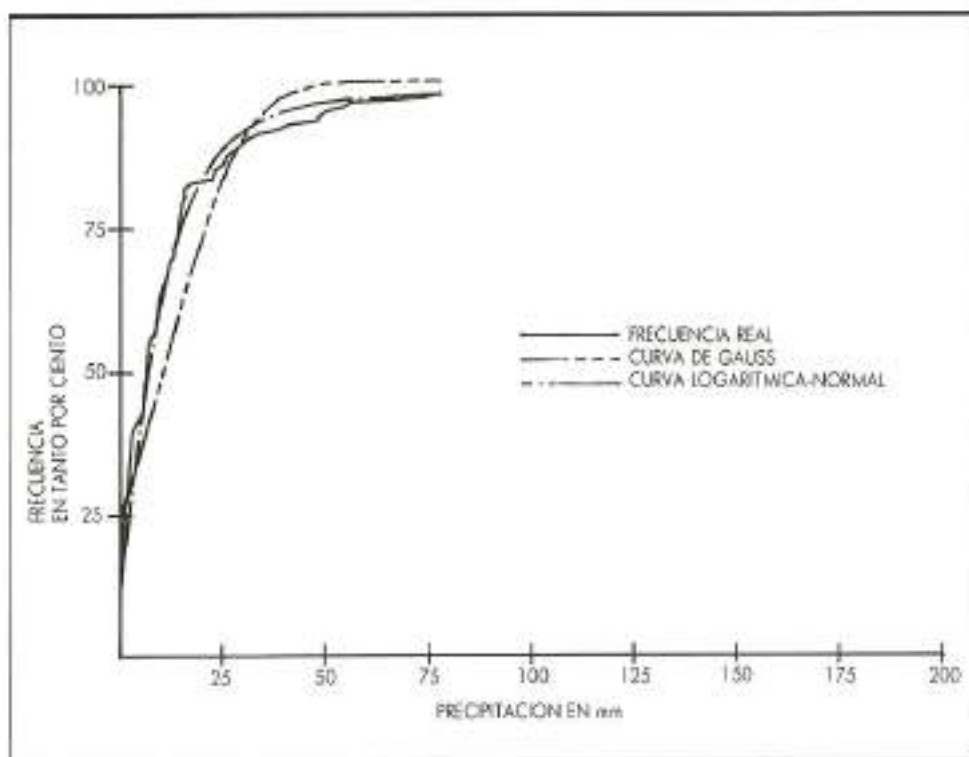


GRAFICO 9.
Precipitaciones
del mes de agosto.

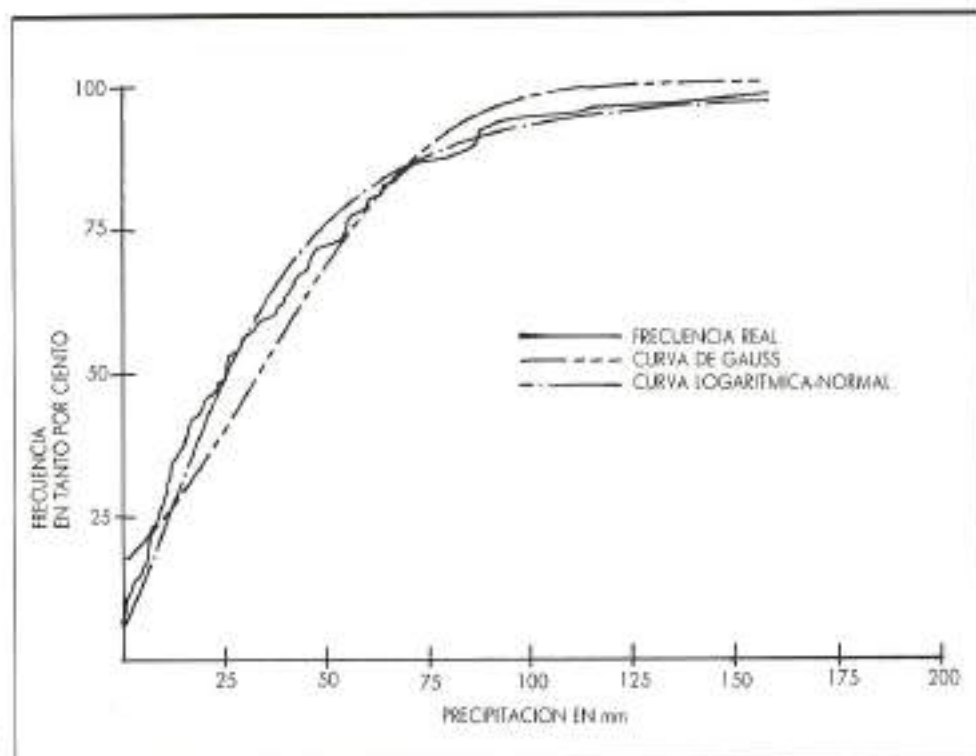


GRAFICO 10.
Precipitaciones del
mes de septiembre.

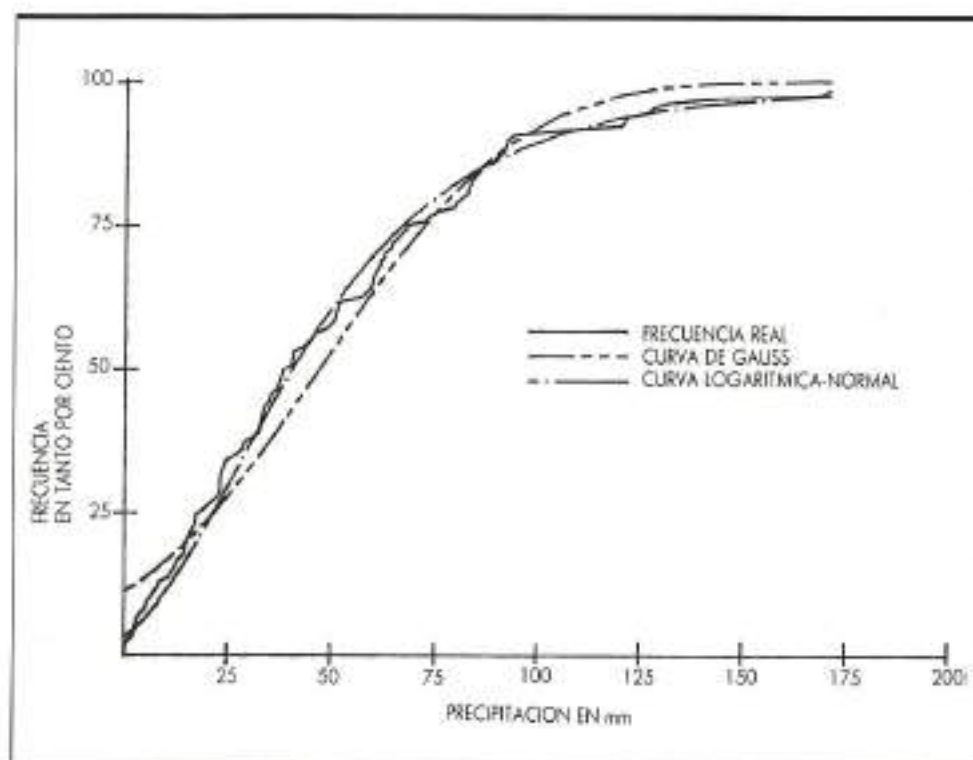


GRAFICO 11.
Precipitaciones
del mes de octubre.

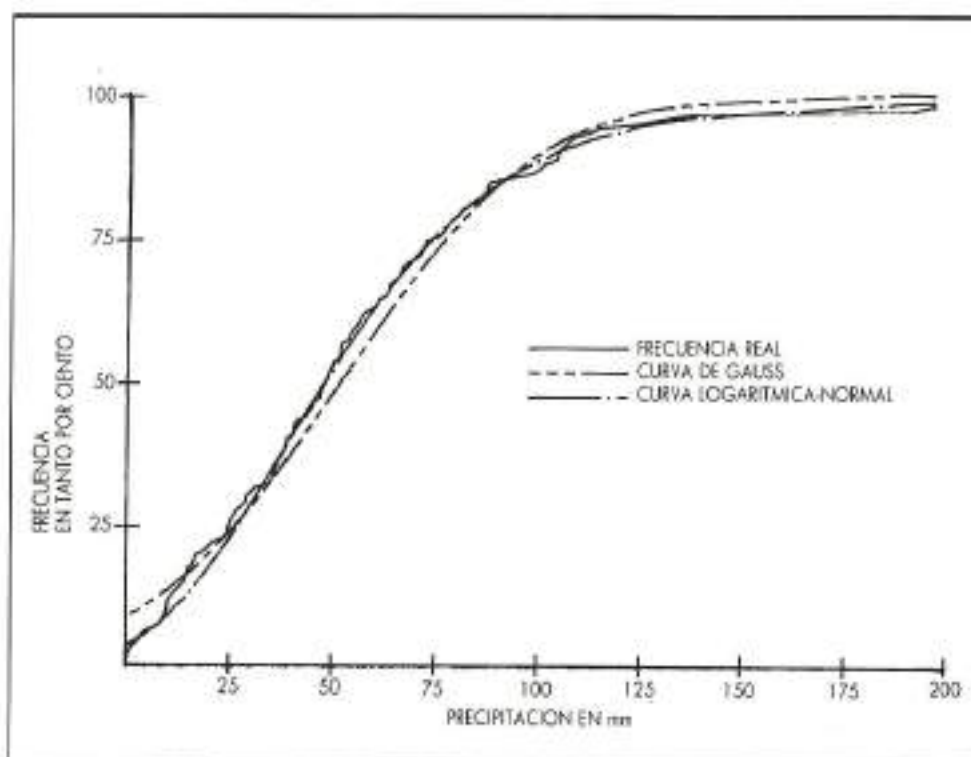


GRAFICO 12.
Precipitaciones del
mes de noviembre.

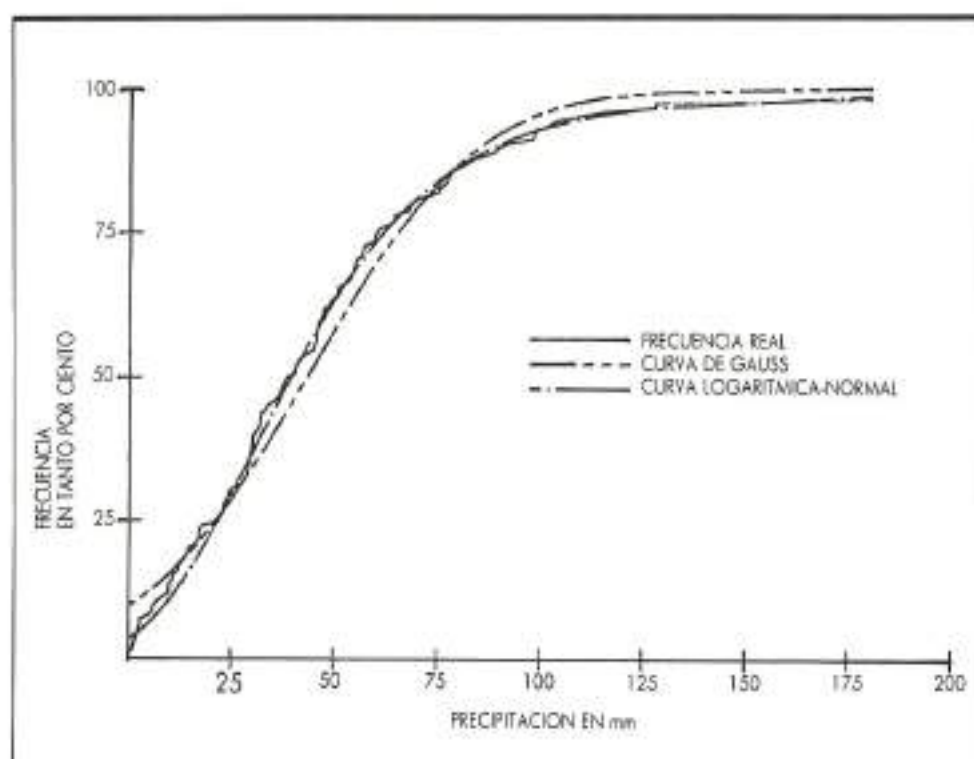


GRÁFICO 13.
Precipitaciones del
mes de diciembre.

4.2. ANALISIS POR BLOQUES

Una vez estudiado el conjunto de la población, y con el fin de ver cómo varían los ajustes, al reducirse el número de elementos que forman la citada población, se ha dividido en bloques de 95, 90, 85, 80, 75, 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15 y 10 años, de tal forma que cada bloque de igual tamaño, se diferencia del anterior en que empieza cinco períodos después. El análisis que presentamos se centra en bloques de la serie anual, pero estas conclusiones creemos que se podrán ampliar a los datos mensuales. Para cada uno de los bloques se ha estudiado la media y la desviación típica de los coeficientes de regresión, representándolas en el Gráfico 14. De él podemos deducir:

- 1.º El coeficiente de regresión de la curva logarítmica siempre es mayor que el de la gaussiana como era de esperar, ya que en ésta trabajamos con dos parámetros y en la primera lo hacemos con tres.
- 2.º Al ser los valores medios del coeficiente de regresión de la curva logarítmica siempre mayores que los de la curva gaussiana y al ser siempre menor la desviación típica de la regresión de la curva logarítmica que la correspondiente

de la curva gaussiana, resulta que la variación del coeficiente de regresión es más favorable en el caso de la curva logarítmica que en el caso de la curva normal.

- 3.º El valor del coeficiente de regresión en la curva de Gauss va creciendo, a medida que aumenta el número de elementos del bloque estudiado, hasta llegar a un máximo para bloques de 85 elementos donde se detiene en un 99,47 %.
- 4.º La desviación típica de los coeficientes de regresión, en la curva de Gauss, empieza con un valor de 1,8 para bloques de 10 elementos y va descendiendo, hasta valores próximos a 0,06 para bloques de 90 elementos, donde parece que se detiene en su descenso.
- 5.º El coeficiente de regresión de la curva logarítmica empieza con un valor del 98,24 %, para bloques de 10 elementos, y crece constantemente hasta alcanzar un valor del 99,82 %, para bloques de 95 elementos y, aparentemente, presenta una tendencia a seguir creciendo.
- 6.º La desviación típica de los coeficientes de regresión, en la curva logarítmica, empieza con valores de 0,88, para bloques de 10 elementos, y va descendiendo hasta valores próximos a 0,01 para bloques de 95 elementos, presentando una tendencia a seguir descendiendo.

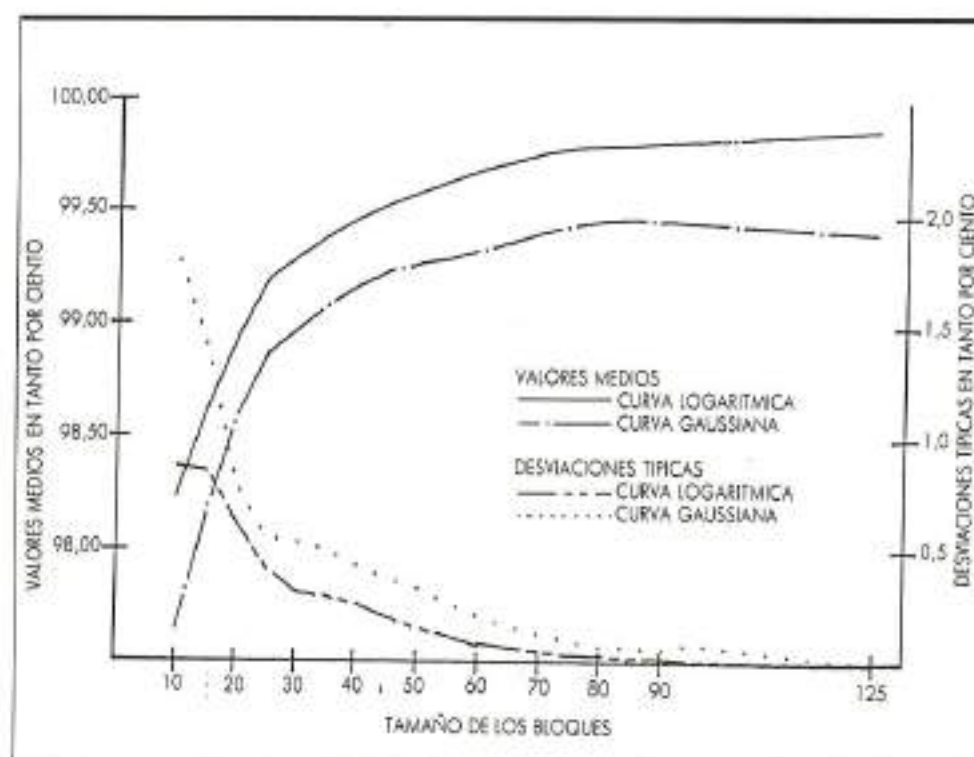


GRÁFICO 14.
Coeficiente de
regresión de los
ajustes de los datos
anuales del
observatorio
Madrid-Retiro.

7.º Por último analizamos en el Gráfico 15 la variación mensual de las precipitaciones medias, medianas y módicas. Si ordenamos los meses

por orden decreciente de precipitaciones medias, medianas y módicas obtenemos la Tabla IV:

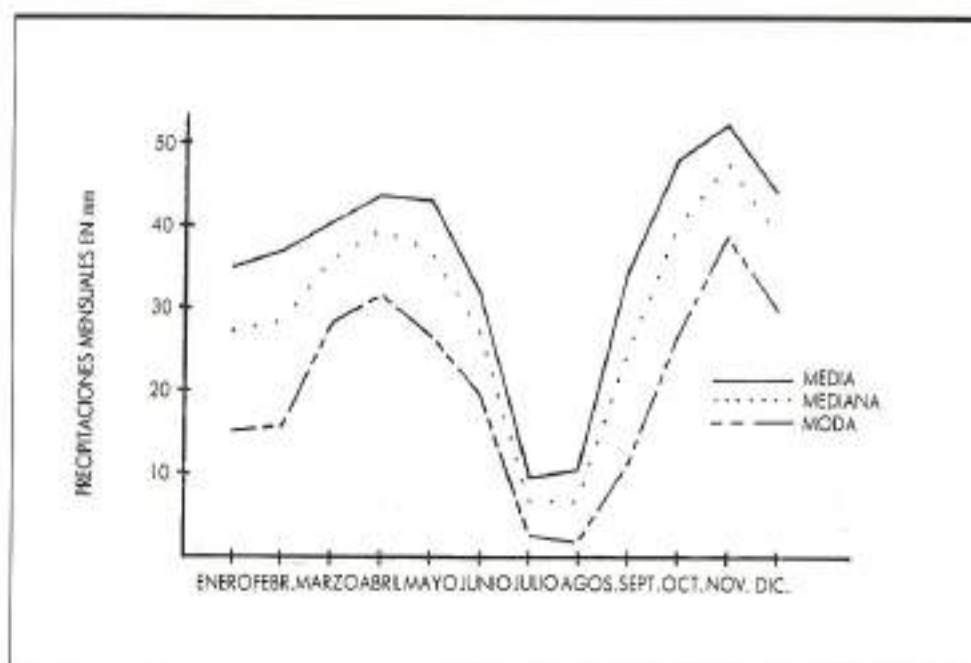


GRÁFICO 15.
Precipitaciones
mensuales
Madrid-Retiro, período
1859-1983.

MES	MEDIA	MEDIANA	MODA
ENERO	8°	9°	9°
FEBRERO	7°	7°	8°
MARZO	6°	6°	4°
ABRIL	4°	3°	2°
MAYO	5°	5°	5°
JUNIO	10°	8°	7°
JULIO	12°	11°	11°
AGOSTO	11°	12°	12°
SEPTIEMBRE	9°	10°	10°
OCTUBRE	2°	2°	6°
NOVIEMBRE	1°	1°	1°
DICIEMBRE	3°	4°	3°

TABLA IV.

Del Gráfico 15 se deduce que hay dos períodos húmedos: En nuestro caso el más intenso corresponde al otoño, con dos meses muy regulares que son noviembre y diciembre, y otro menos regular que es octubre. Algo menos intenso es el período pluviométrico de primavera, centrado en el mes de abril y con los meses de marzo y mayo como secundarios.

Los períodos secos están en verano e invierno: La sequía relativa de verano comprende los meses de julio y agosto, extendiéndose más o menos a los

meses de junio y septiembre, que se pueden considerar como de transición, según sea la época seca adelantada o atrasada. La sequía menos intensa de invierno se produce durante los meses de enero y febrero.

CONCLUSIONES

Aunque, como ya indicaron J. Aitchison y J. A. C. Brown, hemos encontrado dificultades para obtener el método que ajusta las curvas logarítmicas de tres parámetros, el procedimiento utilizado parece tener la suficiente sensibilidad como para definir la moda de pequeñas poblaciones.

La diferencia entre los ajustes que se pueden realizar con la curva gaussiana y la curva logarítmica va siendo mayor a medida que el fenómeno es más variable; esto lleva a la conclusión de que en períodos o zonas de precipitaciones muy uniformes las dos curvas de ajuste dan resultados muy semejantes, pero cuando las precipitaciones son más irregulares las diferencias entre los dos ajustes son mucho más sensibles.

Todo ello parece indicar que la curva de densidad de la frecuencia de las precipitaciones debe ser del tipo logarítmico.

En la Tabla V aparecen los valores de las desviaciones típicas de la media, mediana y moda cal-

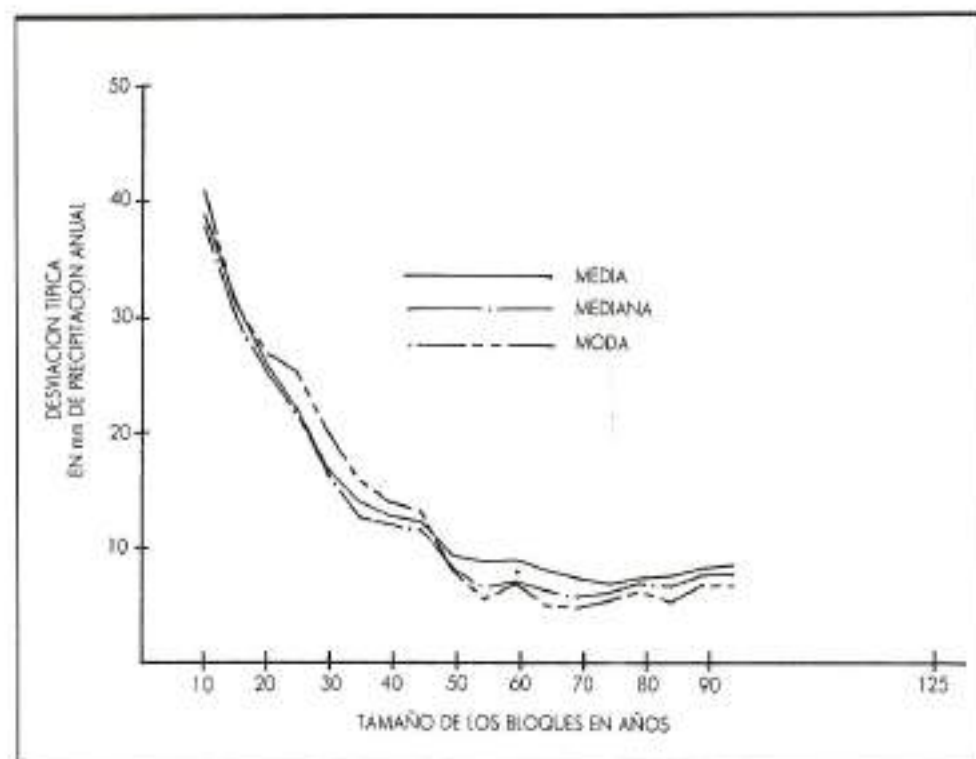


GRAFICO 16.
Evolución de la desviación típica de la media, mediana y moda en función del número de años de los bloques.

BLOQUE	MEDIA	MEDIANA	MODA
95	9,002320	8,146670	7,073080
90	8,722220	8,044680	7,170840
85	8,000580	6,974320	5,555033
80	7,815440	7,333630	6,594770
75	7,235480	6,443590	5,718970
70	7,754090	6,066530	5,068430
65	8,445500	6,664060	5,245990
60	9,425500	7,521950	7,264820
55	9,256950	6,937330	5,864210
50	9,816120	8,704810	8,534310
45	12,928600	12,238320	13,859250
40	13,417890	12,758850	14,716350
35	14,776560	13,410840	16,840260
30	17,729460	17,486060	21,248510
25	23,304400	23,033700	26,683600
20	27,531200	26,871000	28,495800
15	33,360500	31,889270	33,084790
10	41,331000	40,272600	43,465000

TABLA V. Comparación de las desviaciones típicas de la media, la mediana y la moda para distintos bloques.

culadas, para los distintos tamaños de bloques, a partir de la curva logarítmica. Estos valores los hemos representado en el Gráfico 16 en donde vemos que se mantienen casi constantes para bloques de más de 45 elementos. A partir de este punto el error de la moda supera al de la media y todos los errores aumentan muy rápidamente. Por ello, creemos que no son significativos los bloques de precipitaciones inferiores a 50 años. De todas formas, conviene hacer notar que el error típico, para bloques de más de 45 unidades, es inferior a

10 mm, cuando la media es del orden de 430 mm, la mediana de 420 mm y la moda de 390 mm. Por otra parte, el error típico para bloques de 10 a 15 unidades oscila entre 30 y 40 mm, es decir, de un 10 % a un 15 % del valor medio.

Estas consideraciones nos hacen pensar que la aplicación de curvas simétricas en climas húmedos puede dar lugar a resultados satisfactorios de ajustes, pero si analizamos los climas semiáridos se deben emplear curvas asimétricas del tipo que hemos propuesto en este artículo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los que han colaborado para que la redacción de este artículo se haya completado, entre ellos destacaré a Juan Antonio Vera Aparici, Francisco García Vila y José Luis Gómez Espadas por sus consejos en la redacción y atentas correcciones, a Manolo Toro Muela por el dibujo de los gráficos y a mi familia por su ayuda y paciencia.

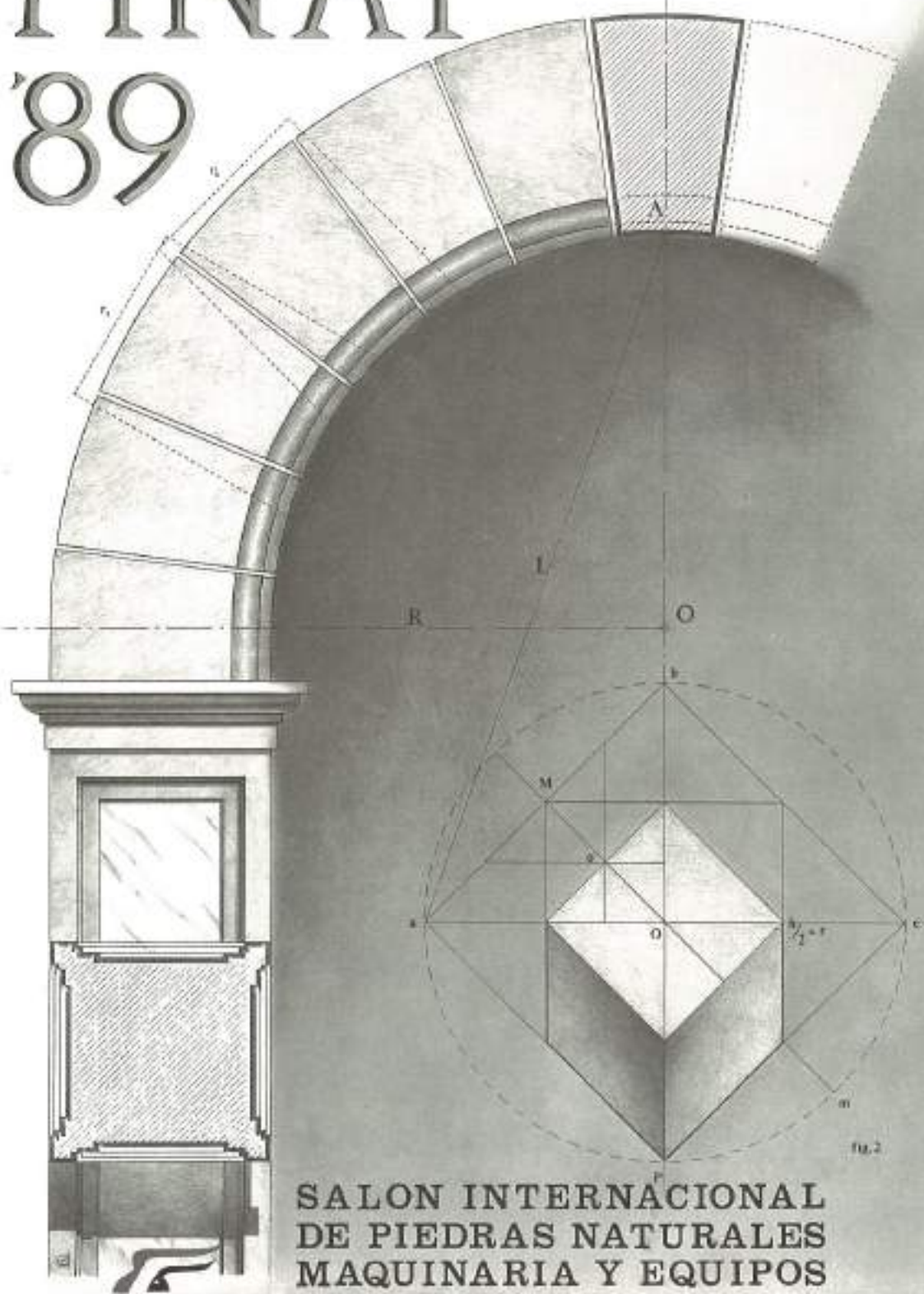
BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

- Boletines del Servicio Meteorológico Nacional.
 AITCHISON, J., y BROWN, J. A. C. (1981). The lognormal distribution. University of Cambridge.
 CRAMER, H. (1960). Métodos matemáticos de estadística. Aguilar, S. A. Madrid.
 «El agua subterránea en Madrid». Boletín de informaciones y estudios. MOPU, n.º 46, junio, 1986.
 GARCIA DE PEDRAZA, L. (1983). Notas sobre precipitación atmosférica en el observatorio de Madrid-Retiro. Boletín de la AME. Diciembre.

PINAT

15 - 19 MARZO

89



**SALON INTERNACIONAL
DE PIEDRAS NATURALES
MAQUINARIA Y EQUIPOS**

FEVAL

**FERIA DE MUESTRAS DE EXTREMADURA
DON BENITO ESPAÑA**

INFORMACION: APARTADO 37 - DON BENITO (Badajoz) - TELF. (024) 80 22 31 / 27 61 - TELEX 28849 FEVAL E - FAX (024) 80 27 50 - ESPAÑA