

Figura 5. Curvas de Máximo en Chile



FUNCION INTRINSECA DE FRECUENCIAS DE LA PRECIPITACION
DIARIA EN CHILE ENTRE LOS 28° Y 41° LATITUD

HUMBERTO PEÑA TORREALBA (1)

FERNANDO VIDAL JARA (2)

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un análisis estadístico de la precipitación, en los días con precipitación mayor o igual que 0,1 y 10,0 mm/día, evitando los procedimientos convencionales que limitan el estudio a la serie de valores máximos anuales. Con este propósito se utilizan registros de precipitaciones diarias de 111 estaciones ubicadas entre los 28° y 41° de latitud sur. Se concluye que es posible representar mediante una expresión matemática única, de gran simplicidad, la función de frecuencias acumuladas de las precipitaciones de la zona estudiada, incorporando un factor de corrección asociado a las condiciones orográficas locales. La función obtenida se puede aplicar al cálculo de las precipitaciones diarias para diferentes periodos de retorno, siendo especialmente atractivo su uso en lugares con pocos eventos de precipitación y cuando solamente se dispone de registros de corta longitud.

Cabe señalar que los procedimientos propuestos constituyen una línea de investigación en desarrollo, con variadas potencialidades, antes un trabajo acabado.

(1) Ingeniero Civil - Dirección General de Aguas

(2) Ingeniero de Ejec. en Meteorología - Dirección General de Aguas

1.- INTRODUCCION

La determinación de las precipitaciones diarias de una baja probabilidad de excedencia constituye un problema de primera importancia en la ingeniería hidrológica, ya que resulta un paso imprescindible en el cálculo de crecidas de diseño mediante el uso de relaciones precipitación - escorrentía.

Para ese propósito, normalmente se utiliza el registro de precipitaciones diarias máximas anuales de un lugar representativo de la cuenca en estudio, la cual permite ajustar alguna distribución de frecuencias teórica. Dicha función se extrapola, usualmente en varias veces la longitud estadística medida, para estimar las precipitaciones diarias correspondientes a altos periodos de retorno previamente definidos.

Esta metodología ha sido criticada en los últimos años debido a su falta de fundamentación científica (Klemes, *The Improbable Probabilities of Extreme Floods and Droughts*, WMO 1989). En efecto, es evidente que el mero ajuste de una función matemática a un conjunto de valores medidos, sin que ello se base en una correspondencia definida con algún proceso físico, no garantiza la validez de una extrapolación más allá del rango de medición.

No obstante la importancia del tema y la validez de las críticas, los avances metodológicos han sido escasos. Ellos se han orientado principalmente a mejorar los ajustes de las distribuciones teóricas a través de sofisticados procedimientos matemáticos, sin que se haya abordado el problema fundamental de la validación de los modelos empleados como instrumentos de extrapolación de las series medidas.

En el presente trabajo se intenta resolver dichas limitaciones ampliando la serie de precipitaciones diarias a través de la integración de la información en el plano espacio-tiempo. Con ello se hace innecesario el uso de procedimientos de extrapolación, debido al gran número de datos medidos que se utilizan en el análisis.

Para este propósito, en el trabajo se explora un camino que se puede caracterizar por los siguientes elementos fundamentales:

- Las precipitaciones diarias se analizan como resultado de la acción sobre el relieve local de fenómenos meteorológicos de comportamiento homogéneo en toda la zona en estudio. Esta hipótesis de trabajo, cuya validez se analiza a lo largo del informe en función de los antecedentes existentes, tiene entre los 28° y 41° de latitud, una base física aceptable. En efecto, los temporales en esa zona se producen por la interacción de masas de aire bien definidas, de marcado carácter oceánico, mediante la generación de perturbaciones frontales las cuales son cualitativamente muy similares entre sí.

- Se reemplaza como objeto de estudio la serie de precipitaciones diarias máximas anuales por la serie completa de todas las precipitaciones diarias. De este modo se busca determinar el comportamiento intrínseco de los días con precipitación, eliminando la distorsión que introduce en las series de valores máximos la distinta frecuencia de los eventos de lluvia en los diferentes lugares.

De acuerdo a esta concepción, en el trabajo se seleccionan las series de los días con precipitación y la correspondiente a

los días con precipitación mayor que 10 mm; a continuación se analiza el comportamiento de las series con el propósito de comprobar su homogeneidad espacial y definir una función que interprete el conjunto de los datos. Finalmente, la función de frecuencias acumuladas única, deducida para toda la zona, se aplica al problema de la determinación de la precipitación de un periodo de retorno dado en un lugar cualquiera y se compara el resultado con el obtenido mediante métodos convencionales.

2.- ANTECEDENTES UTILIZADOS

Para el desarrollo del presente estudio se seleccionó la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Copiapó y Maullín, la cual abarca una extensión latitudinal de aproximadamente 1.600 km, entre los 28° y los 41° de Latitud Sur.

La información pluviométrica a nivel diario se obtuvo del banco de datos hidrológicos de la Dirección General de Aguas, recopilándose antecedentes a partir de 1950, de un total de 111 estaciones con una densidad media de alrededor de 2500 km² por estación. El registro de menor longitud fue de 14 años.

Se trabajó con la serie de los días con precipitación igual o mayor que 0,1 mm y que 10,0 mm. Esta segunda serie de datos se usó considerando que es posible que para niveles de precipitación muy reducidos tengan una mayor influencia fenómenos meteorológicos anómalos, de alcance local, que no se relacionan con el patrón general de las precipitaciones. La información recolectada correspondió a un total de 3.320 años de observaciones diarias, lo que equivale a un promedio de 30 años por estación, con 168.974 eventos de precipitación igual

o mayor que 0,1 mm y 88.690 igual o mayor que 10,0 mm. Estas muestras se pueden caracterizar con las siguientes cifras :

	mm/año	mm/día	n° de días/año
PP ≥ 0.10 mm	865,9 (759,9)	15,7 (5,7)	52,3 (42,3)
PP ≥ 10.0 mm	767,3 (702,6)	27,3 (5,6)	27,3 (23,5)

() : Desviación estándar

En el Cuadro N° 1 se entrega la nómina de estaciones seleccionadas, con su correspondiente latitud y periodo de registro.

3. ANALISIS GENERAL

Las series recopiladas fueron sometidas en primer término a un procesamiento estadístico general, en el cual se determinaron los siguientes parámetros: número medio de eventos por año, precipitación media anual, precipitación media diaria (con respecto a los días considerados), desviación estándar y coeficiente de variación de las precipitaciones diarias. Los resultados de este procesamiento se entregan en el Cuadro N° 1. Además en las Figuras N° 1, N° 2 y N° 3 se han graficado los principales parámetros en función de la latitud.

Estos antecedentes muestran claramente que aun cuando el monto anual de las precipitaciones y el número de días afectados crece significativamente con la latitud, los parámetros estadísticos como el promedio y el coeficiente de variación no presentan ninguna tendencia de ese tipo. De este modo, la mayor precipitación anual hacia el sur se explica por la mayor frecuencia de los eventos, como se aprecia en la Figura N° 4 donde se grafican esas variables. Por otra parte, la dispersión

que se observa en los parámetros, se asocia claramente a situaciones locales de carácter orográfico. En especial, el incremento de los valores medios alrededor de los 35° de latitud, tiene una clara correspondencia con la baja elevación de los cordones montañosos de la Cordillera de la Costa.

Finalmente se determinaron curvas de frecuencias acumuladas para diversas estaciones, para lo cual se prepararon tres muestras agrupando 32 estaciones en tres series con $X_{med}(\geq 10)$ en los siguientes rangos: S1 con X_{med} entre 20 y 25; S2 con X_{med} entre 27,5 y 32,5; y S3 con X_{med} entre 35,0 y 40,0. La Figura N° 5 muestra las correspondientes distribuciones de frecuencias acumuladas y donde se observa la importante coincidencia entre los diferentes grupos. Lo anterior llevó a comparar las distintas curvas medias en términos normalizados, expresadas en forma relativa a su valor medio (X/X_{med}). El resultado obtenido muestra una completa coincidencia como se muestra en Figura N° 6.

4.- FUNCION DE FRECUENCIAS INTRINSECA

Después de demostrar la factibilidad de definir una función de frecuencias única para toda la zona, se procedió a construirla para lo cual se seleccionó un conjunto de 52 registros pluviométricos, con estaciones distanciadas en unos 100 km entre sí. Esta condición se puso para disminuir las posibilidades de utilización de registros correlacionados.

A continuación, con el propósito de normalizar los registros y hacerlos consistentes, se determinó el promedio y se procedió a preparar series normalizadas dividiendo los valores registrados por el valor medio de la serie respectiva.

Finalmente, ordenando en clases el conjunto de datos proporcionados las estaciones seleccionadas, se calcularon las frecuencias acumuladas empíricas. La agregación de los datos permitió disponer de 39.474 eventos en el caso de los días con precipitación mayor que 10 mm y de 79.700 con la serie completa.

Los resultados obtenidos se entregan en la Figura N° 7, donde se aprecia el excelente ajuste que se alcanza utilizando funciones de frecuencias del tipo exponencial. Dichas funciones tienen las siguientes expresiones matemáticas:

i) Función de frecuencias acumuladas de precipitaciones diarias mayores que 10 mm.

$$P(X > x) = 1.27 \exp(-1.39 \alpha x) \quad (1)$$

La función se puede invertir resultando:

$$\alpha x = 0.173 - 0.718 \ln(P(X > x)) \quad (2)$$

$$\text{con: } \alpha = 1/x_{med} \quad (3)$$

siendo: x : precipitación diaria (mm)

x_{med} : promedio de la precipitación en los días considerados (mm)

α : factor de corrección orográfico.

Se estima que esta función queda bien definida por los valores empíricos hasta una probabilidad de excedencia $P = 0.0001$

ii) Función de frecuencias acumuladas de precipitaciones diarias mayores que 0.1 mm.

$$P(X > x) = 1.03 \exp(-0.97 \alpha x) \quad (5)$$

La función se puede invertir resultando:

$$\alpha x = 0.032 - 1.029 \ln(P(X > x)) \quad (6)$$

Cabe señalar que el procedimiento utilizado genera cierta

inconsistencia en el tratamiento de los datos en relación a las series de valores con precipitación mayor que 10 mm, debido a que el nivel de corte no está referido al promedio. Ello introduce un cierto error en la estimación del mismo promedio de la muestra y, en consecuencia, del factor de corrección orográfico. Considerando que se trata de variables interrelacionadas, para mejorar la estimación se tendría que seguir un procedimiento de aproximaciones sucesivas, o adoptar otro criterio de normalización.

Además conviene destacar que el análisis anterior no asegura el buen ajuste de la función propuesta a las frecuencias registradas en un punto cualquiera, de modo que corresponde verificar la validez de la aproximación para cada caso, a través de alguno de los test estadísticos diseñados con ese propósito.

5.- DETERMINACION DE PRECIPITACIONES DIARIAS MAXIMAS

Con este objetivo se utiliza la función de frecuencias referida a los eventos de precipitación diaria mayores que 10 mm, considerando que las muestras presentan una mayor estabilidad en el coeficiente de variación.

Para el cálculo de la precipitación diaria de un período de retorno dado es necesario determinar previamente para ese período el valor esperado del número total de eventos en el lugar. Además se requiere estimar el coeficiente de corrección orográfico α . Entonces, los pasos que considera la metodología propuesta son los siguientes:

1) Se estima el número medio, N , de días con precipitación mayor que 10 mm en el punto. Para ello se utiliza ya sea la

estadística registrada en el lugar o los valores que entrega el Cuadro N° 1 en un lugar representativo.

ii) Se determina el valor x_{med} en el punto y se obtiene el factor de corrección orográfico. Estos valores también pueden deducirse directamente del registro estadístico, cuando existe, o del Cuadro N° 1.

iii) Cuando se dispone de registro estadístico, se comprueba la validez de la distribución de frecuencias empleando algún test diseñado con ese objetivo (Chi-2 , Kolmogorov-Smirnov)

iv) Aplicando la función de frecuencias (i) para una probabilidad de excedencia de $1/N*Tr$, y ajustando con el factor de frecuencias, se obtiene el valor de la precipitación diaria buscado.

A modo de ejemplo este procedimiento se utilizó para el cálculo de precipitaciones de diferentes períodos de retorno en 12 estaciones pluviométricas, representativas de distintas condiciones existentes en el país. Los resultados obtenidos se comparan en el Cuadro N° 2 con los que entregan ajustes convencionales del tipo Log-Normal (LN) y Gumbel (G).

Como era de esperar, en la zona más árida el procedimiento propuesto puede introducir importantes correcciones a los resultados obtenidos por los métodos convencionales, ya que el reducido número de eventos de precipitación en esa zona hace especialmente inestables e inciertas las extrapolaciones de las funciones de frecuencia teóricas. Hacia latitudes mayores las diferencias son menos importantes, ya que el incremento de los días con precipitación mejora la definición de los parámetros de

los métodos convencionales y simultáneamente el rango de definición de la función deducida en este trabajo, no permite determinar, sin extrapolaciones, los valores correspondientes a periodos de retorno elevados.

6.- CONCLUSIONES

Las conclusiones generales que se deducen del presente trabajo, se pueden resumir en las siguientes ideas:

- La magnitud de las precipitaciones diarias, a lo largo del país entre los 28° y 41° de latitud, responden a una función de frecuencias única, cuyo comportamiento es independiente de la latitud, la cual se debe ajustar a las condiciones locales para considerar los efectos orográficos propios de cada lugar. Dicha función constituye un modelo muy poderoso, que permite interpretar un gran volumen de información en forma extraordinariamente simple.

- La conclusión anterior permite proponer metodologías de procesamiento de los registros pluviométricos distintas de las convencionales, haciendo un uso más integral de la información disponible. En especial se estima que se pueden obtener resultados más confiables en las zonas con bajo número de días con precipitación al año y en estaciones con registros de corta duración.

- El procedimiento propuesto en este trabajo constituye una línea de investigación en desarrollo, con variadas potencialidades, antes que un trabajo acabado.

CUADRO N° 1

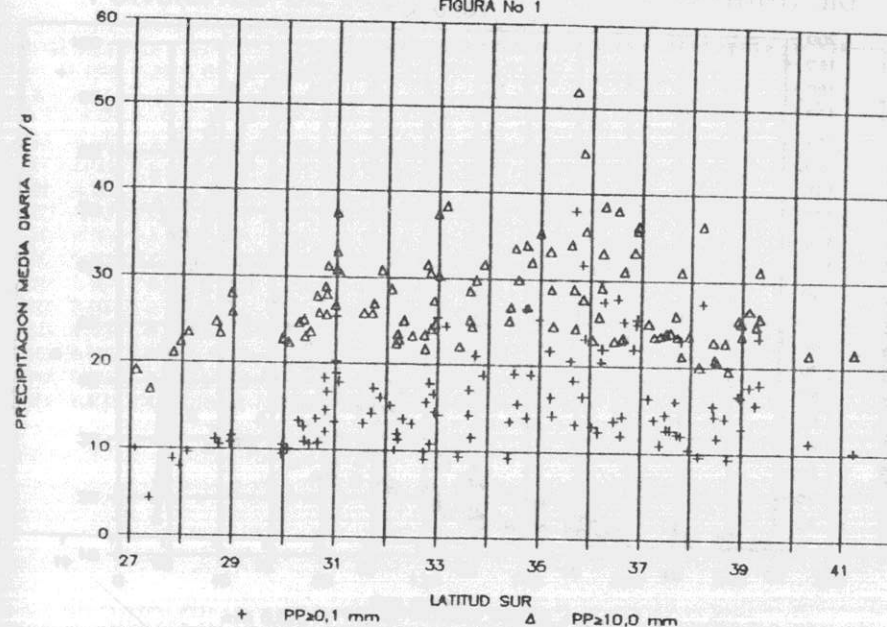
N°	ESTACION	LATITUD SUR GRAD. MIN.	CANTIDAD DE AÑOS	PP. MEDIA		PP. DIARIA ≥ 0,1 mm		PP. DIARIA ≥ 10, mm	
				mm/año	n° días/año	mm/día	n° días/año	mm/día	n° días/año
1	JORQUEPA EN LA GUARDIA	27 ° 50 '	23	43,5	5,0	8,8	1,4	21,1	
2	MANFLAS HACIENDA	28 ° 8 '	23	43,4	4,5	9,6	1,4	23,5	
3	EMPALSE LAUTARO	27 ° 58 '	23	29,8	3,7	8,0	1,0	22,4	
4	PASTOS GRANDES	27 ° 6 '	23	32,7	3,3	9,9	1,3	19,0	
5	COPIAPO	27 ° 23 '	20	12,4	2,9	4,3	0,5	16,9	
6	LOS TAMBOS	28 ° 59 '	29	69,0	5,9	11,6	2,2	25,8	
7	COMAY	28 ° 58 '	24	83,9	7,8	10,8	2,3	28,0	
8	JUNTA DEL CARMEN	28 ° 45 '	41	47,8	4,5	10,6	1,6	23,4	
9	SANTA JUANA	28 ° 40 '	27	43,5	3,9	11,2	1,5	24,7	
10	PIVADAVIA	29 ° 58 '	37	89,6	9,6	9,4	3,1	22,9	
11	MONTE GRANDE	30 ° 5 '	31	70,3	7,0	10,1	2,4	22,4	
12	ALMENDRAL	29 ° 59 '	27	83,1	7,9	10,6	3,0	22,7	
13	HURTADO	30 ° 17 '	41	128,6	9,7	13,3	4,3	24,7	
14	SAMO ALTO	30 ° 24 '	19	104,5	9,5	11,0	3,6	23,1	
15	PICHASCA	30 ° 23 '	41	118,9	9,4	12,7	3,9	25,0	
16	EMPALSE PECOLETA	30 ° 30 '	38	102,8	3,6	10,7	3,6	22,7	
17	TACAPALCO	31 ° 1 '	29	283,8	11,2	25,4	7,0	37,5	
18	LAS PANADAS	31 ° 1 '	40	263,5	13,9	18,9	7,6	20,9	
19	TIMAHUE	31 ° 1 '	41	221,4	10,9	20,3	6,1	33,0	
20	EL MAITEN	30 ° 48 '	15	195,6	10,7	18,3	5,9	28,9	
21	CAFEN	30 ° 51 '	39	189,0	11,3	16,7	5,3	31,3	
22	COGOTI 18	31 ° 5 '	41	194,4	10,8	17,9	5,6	30,5	
23	EMPALSE COGOTI	31 ° 0 '	40	162,1	12,3	13,2	5,1	26,8	
24	EL TOME	30 ° 49 '	25	139,0	11,5	12,1	4,5	25,6	
25	SOTAQUI	30 ° 38 '	36	114,4	8,4	13,6	3,5	27,8	
26	EMPALSE PALOMA	30 ° 41 '	41	129,9	12,1	10,8	4,3	25,8	
27	PUNITAQUI	30 ° 49 '	28	160,0	11,0	14,6	5,0	28,0	
28	CUNCUMEN	31 ° 54 '	28	272,5	16,9	16,1	7,6	30,9	
29	SAN AGUSTIN	31 ° 43 '	41	232,3	16,2	14,3	7,8	25,8	
30	MAL PASO	31 ° 45 '	28	230,5	13,4	17,2	7,6	27,0	
31	SANTA VIRGINIA	31 ° 33 '	26	208,5	15,9	13,1	6,8	25,9	
32	EL TRAFICHE	32 ° 13 '	25	224,8	18,8	12,0	7,8	23,5	
33	HACIENDA EL SOBRENTE	32 ° 14 '	39	194,3	17,2	11,3	5,9	22,8	
34	HACIENDA PEDEPINAL	32 ° 5 '	24	255,0	16,8	15,2	7,8	28,7	
35	HACIENDA CHALACO	32 ° 11 '	28	209,8	20,9	10,0	7,2	22,4	
36	HACIENDA ALTCAHUE	32 ° 20 '	29	271,0	19,8	13,7	3,2	25,0	
37	PIECILLOS	32 ° 56 '	41	458,0	27,6	16,6	14,9	27,4	
38	VILCUIA	32 ° 52 '	26	322,0	29,8	10,8	10,8	24,1	
39	SAN FELIPE	32 ° 45 '	29	198,4	21,9	9,0	7,0	21,8	
40	RESGUARDO LOS PATOS	32 ° 30 '	41	302,7	23,0	13,1	10,9	23,3	
41	CATEMU	32 ° 44 '	35	228,0	22,9	9,9	7,6	23,4	
42	ESTERO PARUCO	32 ° 51 '	25	394,5	22,1	17,9	11,6	30,7	
43	LO POJAS	32 ° 47 '	27	402,2	25,7	15,6	11,3	31,6	
44	LAS MELOSAS	33 ° 54 '	25	763,4	40,6	18,8	21,4	31,7	
45	EMPALSE EL YESO	33 ° 41 '	28	494,3	42,7	11,6	16,1	24,4	
46	SAN JOSE RETEN	33 ° 38 '	18	578,2	33,8	17,1	17,8	28,6	
47	SANTIAGO	33 ° 26 '	31	293,7	31,7	9,3	10,8	22,1	
48	RINCON DE LOS VALLES	32 ° 57 '	33	292,8	20,2	14,5	10,0	24,7	
49	CALEU	33 ° 0 '	29	581,5	22,9	25,4	14,7	37,4	
50	EMPALSE RINGUE	33 ° 1 '	34	347,9	24,6	14,2	9,6	30,3	
51	CARMEN DE LAS ROSAS	33 ° 45 '	39	452,8	21,4	21,1	13,9	29,9	
52	COLLIGUAY	33 ° 10 '	40	611,3	25,1	24,4	14,7	38,4	
53	CEPRILLOS DE LEYDA	33 ° 38 '	38	410,9	28,9	14,2	14,1	25,1	
54	POFETA	34 ° 26 '	20	634,3	46,9	13,5	20,6	26,8	
55	RENGO	34 ° 24 '	20	542,8	58,9	9,2	17,9	25,1	

C U A D R O N º I (Continuación)

Nº	ESTACION	LATITUD SUR GRAD. MIN.	CANTIDAD DE AÑOS	PP.MEDIA mm/año	PP.DIARIA: 0,1 mm n'dias/año mm/día	PP.DIARIA: 10, mm n'dias/año mm/día
56	SAN FERNANDO	34 ° 35 '	19	780,9	50,5 15,5	22,7 30,0
57	MILLAHUE	34 ° 31 '	17	746,9	39,2 19,0	20,6 33,6
58	LA RUFINA	34 ° 44 '	41	1085,7	40,9 26,6	30,1 31,0
59	CONVENTO VIEJO	34 ° 46 '	19	723,8	51,6 14,0	23,8 26,7
60	LA CANDELARIA	34 ° 50 '	17	866,9	45,9 18,9	24,6 32,1
61	LOS QUERES	35 ° 0 '	40	1321,5	52,2 25,3	35,4 35,4
62	POTRERO GRANDE	35 ° 12 '	19	1126,2	52,0 21,7	31,2 33,3
63	GUALLECO	35 ° 14 '	29	806,2	49,6 16,3	24,3 28,9
64	ARMERILLO	35 ° 42 '	37	2269,3	59,7 38,0	42,4 52,1
65	EMBALSE DIGUA	36 ° 15 '	40	1541,5	79,1 22,0	43,1 33,2
66	SAN MANUEL EN PERQUIL.	36 ° 14 '	33	1379,9	67,2 20,5	43,5 29,2
67	QUELLA	36 ° 3 '	29	693,4	53,8 13,0	25,3 23,1
68	NIPIVILO	35 ° 52 '	30	832,6	51,0 16,4	26,2 27,8
69	PARRAL	36 ° 11 '	27	946,7	76,4 12,4	31,1 25,7
70	EMBALSE RULLILEO	36 ° 17 '	41	2111,9	76,7 27,5	52,1 38,6
71	HORNILLO	35 ° 51 '	29	2176,9	68,5 31,8	46,6 44,8
72	EMBALSE ANCOA	35 ° 54 '	31	1510,5	65,0 23,2	39,7 35,7
73	MELIZAL	35 ° 43 '	40	750,6	57,1 13,2	25,5 24,3
74	COLBUN (MAULE SUR)	35 ° 41 '	31	981,2	53,6 18,3	30,3 19,0
75	EL GUINDO	35 ° 16 '	27	728,9	51,2 14,2	25,4 24,6
76	COLORADO	35 ° 37 '	27	1374,7	66,6 20,6	37,4 34,1
77	LA FUMILLA	36 ° 40 '	28	1731,2	68,6 25,2	53,4 31,1
78	SAN FABIAN	36 ° 33 '	32	2027,5	72,8 27,9	50,6 38,1
79	CHILLAN	36 ° 37 '	19	991,1	82,8 12,0	35,9 23,1
80	CHOLGUAN	37 ° 9 '	27	1322,1	81,2 16,3	47,3 25,0
81	ATACAICO	36 ° 55 '	39	2336,7	96,5 24,8	61,2 35,8
82	DISMILLIN	36 ° 52 '	32	2023,8	92,0 22,0	56,7 23,3
83	SAN LORENZO	36 ° 56 '	29	2356,7	92,5 25,5	61,4 26,3
84	NUEVA ALDEA	36 ° 39 '	34	974,6	68,6 14,2	35,8 23,3
85	COLEMU	36 ° 29 '	24	823,5	60,3 13,7	29,9 23,0
86	CERPO EL PADRE	37 ° 47 '	41	2136,0	92,6 23,1	64,2 31,1
87	QUILACO	37 ° 41 '	40	1536,9	96,0 16,0	52,0 26,0
88	DUQUECO	37 ° 29 '	26	1048,2	72,3 14,5	37,6 23,8
89	MULCHEN	37 ° 43 '	29	1187,6	97,4 12,2	41,9 23,5
90	SAN JOSE DE MUNILQUE	37 ° 35 '	30	1039,1	86,8 12,7	37,8 24,0
91	LAGUNA MALLECO	38 ° 13 '	31	2073,5	112,0 27,4	80,3 26,4
92	COLLIPILLI	37 ° 57 '	28	1219,2	116,3 10,5	42,5 23,6
93	LAS ACHIPAS	37 ° 23 '	26	1108,0	100,3 11,0	38,4 23,6
94	LOS ANGELES	37 ° 20 '	27	1084,7	85,3 12,7	37,8 23,9
95	LAJA	37 ° 16 '	24	972,2	70,2 13,9	35,2 23,5
96	CAJETE	37 ° 48 '	29	1213,6	100,3 12,1	46,6 21,2
97	LIMACO	38 ° 3 '	40	971,1	101,7 3,6	35,5 20,1
98	PUILLEN	38 ° 28 '	31	1160,5	81,1 14,3	47,1 20,9
99	CURACAUTIN	38 ° 26 '	20	1804,7	116,8 15,5	68,0 23,0
100	LAUFARO	38 ° 31 '	37	1274,8	107,8 11,8	49,1 20,6
101	TEMUCO	38 ° 44 '	36	1116,8	119,7 9,3	41,7 19,6
102	VILCUN	39 ° 40 '	26	1661,2	118,1 14,1	62,0 22,9
103	CUNCO	38 ° 56 '	17	1940,8	116,5 16,7	68,0 25,5
104	LOS LAURELES	38 ° 59 '	40	1957,8	118,6 16,5	68,8 25,1
105	QUECHEFEGUA	39 ° 0 '	19	2005,8	154,9 12,9	71,6 23,6
106	CURAPREHUE	39 ° 21 '	14	2313,3	128,9 18,0	81,3 25,7
107	LLAFENCO	39 ° 20 '	25	3278,6	140,3 23,4	99,2 31,2
108	VILLARRICA	39 ° 17 '	28	2032,1	130,5 15,6	70,8 24,8
109	QUITRATUE	39 ° 3 '	26	2186,0	123,3 17,7	73,2 26,6
110	LAGO RANCO	40 ° 19 '	32	1876,4	166,3 11,3	69,2 21,6
111	LA ENSENADA	41 ° 13 '	24	1838,4	180,2 10,2	70,8 21,7

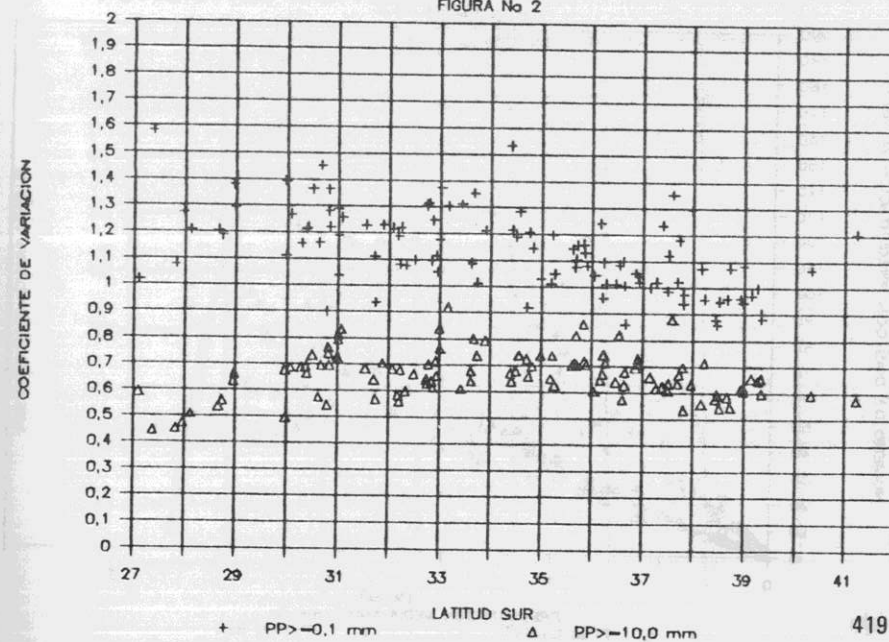
PRECIPITACION DIARIA V/S LATITUD

FIGURA No 1



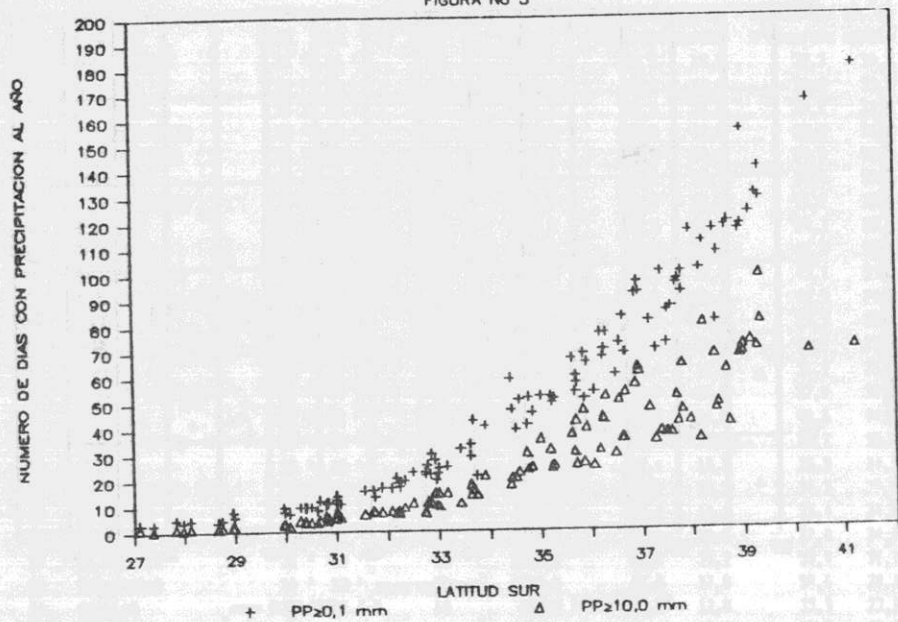
COEFICIENTE DE VARIACION V/S LATITUD

FIGURA No 2



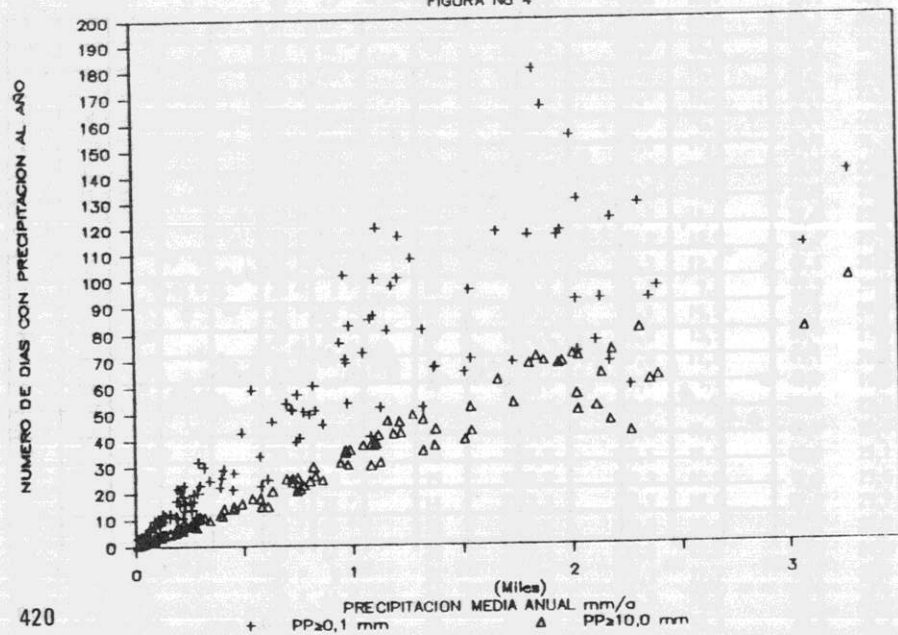
DIAS CON PRECIPITACION V/S LATITUD

FIGURA No 3



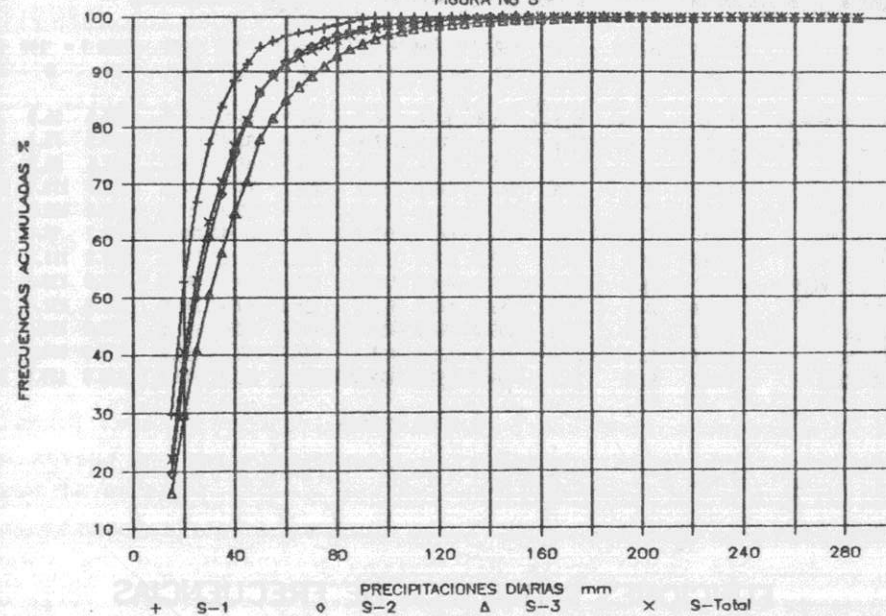
DIAS CON PRECIPITACION V/S LATITUD

FIGURA No 4



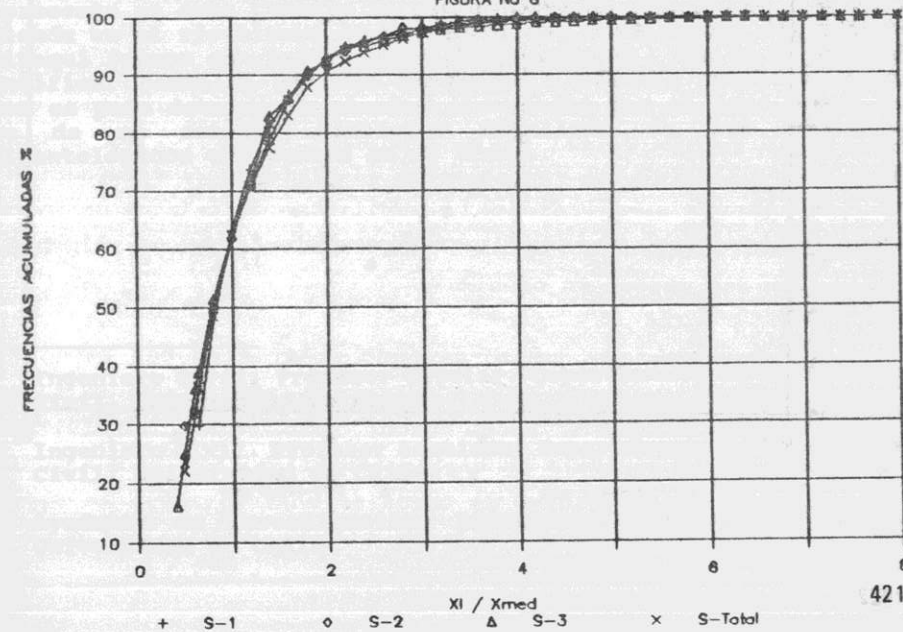
FUNCIONES DE FRECUENCIAS PP ≥ 10 mm/dia

FIGURA No 5



FUNCIONES DE FRECUENCIAS PP ≥ 10 mm/dia

FIGURA No 6



CUADRO No 2: DETERMINACION DE PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS

ESTACION	LATITUD SUR	dias/año	mm/día	PARA T = 1000 AÑOS			PARA T = 500 AÑOS			PARA T = 100 AÑOS		
				LN	G	FI	LN	G	FI	LN	G	FI
EMB. LAUTARO	27.97	1.0	22.4	375.8	80.6	114.9	291.9	73.4	103.8	153.3	56.9	77.9
JTA. DEL CARMEN	28.75	1.6	23.4	270.9	104.6	127.9	223.9	95.8	116.3	137.5	75.1	89.3
RIVADAVIA	29.97	3.1	22.9	183.5	116.6	136.1	159.7	107.2	124.7	112.6	85.3	98.2
EMB. PALOMA	30.68	4.3	25.8	308.0	159.0	159.4	266.8	146.1	146.5	178.7	115.9	116.7
SAN AGUSTIN	31.72	7.8	25.8	226.0	171.4	170.4	201.0	158.0	157.6	149.6	126.8	127.8
SAN FELIPE	32.75	7.0	21.8	176.6	131.8	142.3	157.0	121.6	131.4	116.7	97.6	106.3
SANTIAGO	33.43	10.8	22.1	172.3	148.4	151.1	155.9	137.2	140.1	121.2	111.2	114.6
CONVENTO VIEJO	34.77	23.8	26.7	156.6	175.6	197.8	148.2	164.5	184.5	128.8	138.7	153.7
PARRAL	36.18	31.1	25.7	193.3	196.5	195.3	180.4	183.4	182.5	151.5	152.7	152.8
MULCHEN	37.72	41.9	23.5	206.0	198.3	183.6	191.6	185.1	171.9	159.8	154.3	144.7
LAUTARO	38.52	49.1	20.6	120.7	131.1	163.3	114.5	123.2	153.0	100.2	104.5	123.2
LAGO RANCO	40.32	69.2	21.6	156.5	162.2	176.5	148.1	152.5	165.8	128.8	139.6	140.8

CALCULO DE PALEOCRECIDAS EN EL RIO LIMARI

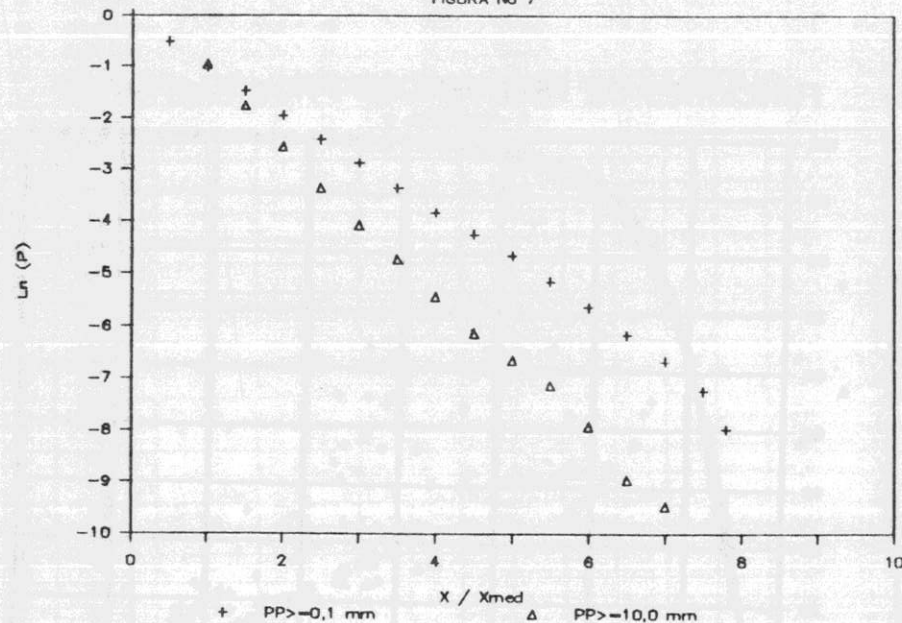
ERNESTO BROWN F. ¹

XIMENA VARGAS M. ²

ODDO CID C. ³

FUNCIONES INTRINSECA DE FRECUENCIAS

FIGURA No 7



RESUMEN

Se presenta en este trabajo la metodología de cálculo de crecidas empleada en el río Limarí en el sector de confluencia del Estero Punitaquí (cruce con la Carretera Panamericana), con el objeto de cuantificar caudales máximos asociados a eventos antiguos. Para estos se pudo determinar niveles alcanzados por el agua sobre la base de un estudio geológico detallado de los estratos sedimentológicos existentes en el tramo.

- 1 Ingeniero Civil. Profesor Titular. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
- 2 Ingeniero Civil. Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
- 3 Ayudante de Investigación. Egresado de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.