

4. PRECISION Y LIMITACIONES DEL MODELO

La precisión del modelo depende de los datos de entrada y procesamiento y de los parámetros de funcionamiento. Los aspectos que afectan a la precisión del modelo son los siguientes:

1. Disponibilidad de datos de entrada: El modelo requiere como entrada datos de precipitación, temperatura, viento y humedad. La disponibilidad de estos datos depende de la red de estaciones meteorológicas que cubra la cuenca.

2. Disponibilidad de datos de salida: El modelo requiere como salida datos de precipitación, temperatura, viento y humedad. La disponibilidad de estos datos depende de la red de estaciones meteorológicas que cubra la cuenca.

Tabla 5. Limitaciones del Modelo.

Objeto y Parámetro	Nº Estaciones	Ubicación y Fuente de Datos
Temperatura	43	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Viento	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Humedad	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Precipitación	63	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Temperatura	122	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Viento	122	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Humedad	122	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Precipitación	63	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Temperatura	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Viento	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Humedad	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Precipitación	63	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Temperatura	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Viento	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Humedad	32	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas
Precipitación	63	Red Nacional de Estaciones Meteorológicas

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un programa computacional en Borland Delphi 5.0, orientado a que permita la modelación hidrológica superficial de cualquier cuenca en que se cuenta con la información necesaria para realizar dicha modelación. Esto es, el registro histórico de los datos medios mensuales, y las características de funcionamiento de parámetros de los elementos naturales y artificiales de la cuenca.

SSuRH ha sido desarrollado para modelar y predecir el comportamiento hidrológico superficial de todos los elementos que representan una cuenca dada, para cualquier condición de operación y disposición de dichos elementos. La precisión de los resultados obtenidos con este programa depende principalmente de una adecuada definición topológica del sistema y de la información hidrológica disponible y la escala espacial y temporal de trabajo.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

CONDICIONES ANTECEDENTES DE HUMEDAD EN TORMENTAS CHILENAS

MARCO ANTONIO BARRIENTOS M. ¹
LUDWIG STOWHAS B. ²

RESUMEN

Se desarrolla un análisis estadístico de frecuencias de ocurrencia de condiciones antecedentes de humedad de tormentas, entendidas éstas como la precipitación acumulada en los 5 días anteriores a la ocurrencia del evento, para 63 estaciones pluviométricas comprendidas desde el Embalse La Laguna en la Cuenca del Río Elqui hasta Puerto Montt. Las series analizadas correspondieron tanto a las estadísticas completas de precipitaciones diarias, como a las series de precipitaciones máximas anuales en 24, 48 y 72 horas. El análisis se desarrolló para los períodos estacionales inactivo o de invierno (Mayo-Agosto), y de crecimiento o verano (Septiembre-Abril), clasificando los resultados en las categorías de condiciones antecedentes seca, normal y húmeda, de acuerdo a los criterios establecidos por el método de la Curva Número. Como era de esperarse, en el período de verano, la condición altamente predominante para todo el sector analizado fue la condición seca. En invierno, de Aconcagua-Maipo al norte predomina la condición seca, mientras hacia el sur la condición húmeda. La condición antecedente calificada como normal por el método de la Curva Número, es la condición menos frecuente para la realidad hidrometeorológica de la región.

Se proponen ecuaciones de regresión para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de las distintas condiciones antecedentes, para ambos períodos estacionales y todas las series consideradas, que permiten evaluar estas probabilidades en sectores sin información, en función de la latitud del lugar.

¹ Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María

² Ingeniero Civil, Profesor, Universidad Técnica Federico Santa María

1. INTRODUCCIÓN

Para la evaluación de crecidas de una cuenca, se requiere disponer de estadísticas fluviométricas en el lugar de interés, o en su defecto, de información pluviométrica que permita estimar las crecidas por medio de la aplicación de alguna relación precipitación-escorrentía. Los métodos más potentes utilizados para estos propósitos establecen relaciones entre la precipitación efectiva y la escorrentía directa, lo cual requiere determinar a priori las pérdidas o infiltración, variable que se maneja como determinística y que se obtiene aplicando algún modelo de infiltración.

Para estimar la magnitud de la infiltración se utiliza crecientemente en Chile el denominado "Método de la Curva Número" (U.S. Bureau of Reclamation, 1977), fundamentalmente en virtud de su simplicidad y por requerir información supuestamente fácil de obtener conociendo sólo la geomorfología de la cuenca. El método, sin embargo, reconoce el carácter aleatorio de la infiltración, al evaluar distintas magnitudes de infiltración en función de las condiciones de humedad antecedente existentes en la cuenca.

En el presente trabajo se pretende indagar y caracterizar en forma estadística las condiciones antecedentes de humedad prevaletientes ante la ocurrencia de tormentas en diversas regiones del país, que permitan dar luces para una más adecuada utilización del método de la Curva Número.

2. ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO DE LA CURVA NÚMERO

El método supone que existe una abstracción inicial (I_a), antes de la inundación del suelo, para la cual no existirá escorrentía. Una vez que se inicia la escorrentía, se tendrá una retención adicional de agua en la cuenca (F_a), que siempre será menor o igual a alguna retención potencial máxima (S). La hipótesis básica del método consiste en que las relaciones entre las cantidades reales y las potenciales son iguales:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (1)$$

En que P_e corresponde al exceso de precipitación o escorrentía directa. Aplicando el principio de continuidad y postulando una relación empírica, dada por:

$$I_a = 0.2 S \quad (2)$$

se obtiene la ecuación básica del método:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S} \quad (3)$$

El valor de la capacidad de infiltración, S , se estandariza con un número adimensional, CN (Curva Número), que varía entre 0 (suelo infinitamente permeable) y 100 (suelo completamente impermeable), con la relación:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4 \quad [mm] \quad (4)$$

El valor de la Curva Número se tabula para diversos tipos de complejos Suelo-Vegetación (tipos de suelo y usos de éstos) y para condiciones antecedentes de humedad calificadas como normales. Para otras condiciones de humedad el número de la curva se modifica, a partir de sus condiciones normales, en base a tablas o a las siguientes relaciones (Chow, 1993):

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad \text{para condiciones antecedentes de humedad secas} \quad (5)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad \text{para condiciones antecedentes húmedas} \quad (6)$$

Las condiciones antecedentes de humedad, se clasifican en tres grupos en base a la lluvia antecedente total de 5 días, de acuerdo a los siguientes criterios:

Lluvia antecedente total de 5 días (mm)			
Estación			
Grupo	Tipo	Inactiva	de crecimiento
I	seca	menor a 12.7	menor a 35.6
II	normal	12.7 a 28	35.6 a 53.5
III	húmeda	sobre 28	sobre 53.5

3. CONDICIONES ANTECEDENTES DE HUMEDAD COMO VARIABLE ALEATORIA

De la ecuación básica del método de la Curva Número se tiene que, para una precipitación dada, la escorrentía directa está asociada a la capacidad de infiltración que presenta la cuenca en el momento de la tormenta (S), la cual, según se indicó anteriormente, está relacionada con las condiciones antecedentes de humedad (CAH). Parece entonces adecuado pensar que la infiltración en una cuenca puede evaluarse como una variable aleatoria que sea función de esas condiciones antecedentes, realizando análisis estadísticos de la variable "condiciones antecedentes de humedad" (CAH), entendida como la cantidad total de precipitación caída en la estación meteorológica durante los cinco días anteriores a un evento de precipitación.

3.1 Estaciones meteorológicas utilizadas y sus principales características

Se dispuso de las estadísticas de las precipitaciones diarias de 63 estaciones meteorológicas distribuidas entre la cuenca del Río Elqui (30° Lat. Sur) y Puerto Montt (41° Lat. Sur), cuya ubicación y características se indican en Barrientos (2001).

3.2 Frecuencias relativas de las Condiciones Antecedentes de Humedad (CAH) para series de precipitaciones diarias y máximas diarias en 24, 48 y 72 horas.

Se realizó un análisis de frecuencia de las CAH de la serie completa de los registros de precipitaciones diarias. Para esto se consideraron series con todos los días en los cuales existe precipitación (> 0). Se calculó la cantidad de lluvia durante los 5 días precedentes a dichos eventos, y se clasificó dentro de uno de los tres grupos de condiciones antecedentes de humedad (I, II o III). Adicionalmente, se realizó un análisis de las CAH de la serie de valores extremos de

precipitación máxima anual en 24, 48 y 72 hrs, considerando un dato por año, correspondiente al mayor valor en cada duración (en cada período estacional), calculando la cantidad de lluvia durante los 5 días precedentes a dicho evento, en forma análoga al caso anterior.

La ventaja de las series de valores extremos radica en que se puede tener mayor certeza respecto de la independencia entre los eventos analizados, además de corresponder a la información que normalmente se utiliza para la estimación de crecidas, mientras la desventaja radica en que se trabaja normalmente con una baja cantidad de datos (uno por año y período estacional), lo cual reduce la validez estadística de las estimaciones.

3.3 Resultados obtenidos

En Anexo se muestran los resultados obtenidos del análisis para las series de precipitaciones máximas anuales, expresados en términos de porcentaje de ocurrencia de cada una de las condiciones antecedentes, para cada una de las estaciones ensayadas. En las Tablas siguientes, se presenta la información, resumida en forma de promedios y desviación estándar, para cada una de las cuencas consideradas. Del análisis de las cifras se observa que en las series diarias y de 72 horas, en ningún caso las desviaciones estándar superan el 10%, alcanzando valores máximos en forma excepcional, pero por debajo del 20%, en las series de 24 y 48 horas, por lo que se estima que las frecuencias relativas promedio representan adecuadamente las condiciones antecedentes en cada una de las cuencas, pudiendo la variable manejarse a esta escala espacial.

En las Figuras N°s 1 a la 4 se grafican las cifras correspondientes a las precipitaciones en 24 y 48 horas. Las series diarias y en 72 hr se pueden obtener de Barrientos (2001). De su observación se deducen algunas conclusiones, algunas de ellas esperables, pero otras sorprendentes. Durante el período de invierno, a excepción de la duración de lluvia de 24 horas, en que el punto de quiebre se produce en el Aconcagua, al norte de la cuenca del Río Maipo, la condición predominante es la condición I o seca. Al Sur del Maipo (o del Aconcagua, para duración de 24 horas), la condición preponderante es la condición III o húmeda. La condición antecedente seca tiende a acentuarse con la duración de la lluvia, es decir, en el norte, la condición preponderante seca se acentúa y en el sur la condición preponderante húmeda se modera, al incrementarse la duración de la lluvia. Este efecto no queda tan claro al sur del Río Imperial, aunque la cantidad de información procesada en esas latitudes es poca. En la serie de precipitaciones diarias, este efecto aparece también algo filtrado.

En ninguna parte de todo el sector del país analizado, hay preponderancia de la condición II, que el método de la Curva Número define como "normal". Mas aún, en la gran mayoría de las veces, su porcentaje de ocurrencia es absolutamente marginal. Esta situación pone una voz de alerta en el sentido de que quizás sea necesario reformular o más bien adecuar el método de la Curva Número para aplicarlo a las condiciones reales de las cuencas hidrográficas en Chile, definiendo límites más representativos para las condiciones normal, seca y húmeda, así como nuevos criterios de conversión de Curva entre una condición antecedente y otra, tema que es materia de investigación en curso.

El valor de la capacidad de infiltración, S , se estandariza con un número adimensional (Curva Número), que varía entre 0 (suelo infinitamente permeable) y 100 (suelo completamente impermeable). El análisis de la CAH de las cuencas de frecuencia de crecidas se realizó en función de la condición de la CAH de las precipitaciones máximas en 24 hrs. Para esto se consideraron series con todos los tipos de condiciones antecedentes (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X). Se calculó el coeficiente de concentración (C) de cada serie de datos de precipitaciones máximas en 24 hrs, considerando el coeficiente de concentración de la CAH de las precipitaciones máximas en 24 hrs. Adicionalmente, se realizó el análisis de la CAH de las precipitaciones máximas en 24 hrs, considerando el coeficiente de concentración de la CAH de las precipitaciones máximas en 24 hrs.

TABLA 1 FRECUENCIAS RELATIVAS PROMEDIO POR CUENCA

N° CUENCA	REGION	REGIMEN	Pdiarias-serie completa											
			ESTACION INACTIVA MAYO-AGOSTO						ESTACION CRECIMIENTO SEPTIEMBRE-ABRIL					
			I(<12.7mm)		II(12.7-28)		III(>28)		I(<36.6mm)		II(36.6-53.5)		III(>53.5)	
PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.			
1 ELQUI	V	P-N	73%	-	11%	-	15%	-	98%	-	0%	-	16%	-
2 LIMARI	V	P-N	66%	5%	12%	1%	20%	5%	97%	0%	0%	1%	2%	1%
3 CHOAPA	V	P-N	63%	2%	14%	2%	22%	3%	96%	2%	1%	1%	1%	1%
4 QUILMARI	V	P	58%	2%	14%	1%	27%	2%	94%	3%	3%	2%	1%	1%
5 PETORCA	V	P	68%	2%	16%	2%	14%	0%	97%	0%	2%	0%	0%	0%
6 ACONCAGUA	V	N-P	56%	3%	16%	2%	27%	5%	96%	1%	1%	0%	1%	0%
7 MAIPO	RM	N-P	40%	4%	15%	0%	44%	3%	82%	4%	5%	2%	12%	2%
8 RAPEL	VI	P-N	40%	2%	14%	2%	45%	5%	86%	5%	6%	0%	7%	5%
9 MATAQUITO	VII	P-N	37%	4%	13%	3%	49%	8%	79%	8%	6%	0%	13%	9%
10 MAULE	VII	P-N	32%	5%	12%	3%	54%	8%	78%	7%	7%	1%	13%	6%
11 ITATA	VII	P-N	22%	-	10%	-	67%	-	71%	-	10%	-	18%	-
12 IMPERIAL	IX	P-N	28%	2%	23%	0%	46%	1%	87%	2%	7%	1%	5%	0%
13 TOLTEN	IX	P-N	15%	-	14%	-	70%	-	70%	-	12%	-	17%	-
14 PUERTOMONTT	X	P	17%	-	21%	-	61%	-	73%	-	14%	-	11%	-

D.E. = Desviación estándar de la muestra.

TABLA 2 FRECUENCIAS RELATIVAS PROMEDIO POR CUENCA

N° CUENCA	REGION	REGIMEN	PMAx ANUAL 24 hrs											
			ESTACION INACTIVA MAYO-AGOSTO						ESTACION CRECIMIENTO SEPTIEMBRE-ABRIL					
			I(<12.7mm)		II(12.7-28)		III(>28)		I(<36.6mm)		II(36.6-53.5)		III(>53.5)	
PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.			
1 ELQUI	V	P-N	66%	-	18%	-	15%	-	100%	-	0%	-	0%	-
2 LIMARI	V	P-N	72%	1%	14%	5%	13%	10%	99%	1%	0%	0%	0%	1%
3 CHOAPA	V	P-N	65%	10%	14%	8%	19%	11%	98%	2%	1%	1%	0%	1%
4 QUILMARI	V	P	64%	11%	3%	4%	32%	11%	99%	1%	0%	1%	0%	0%
5 PETORCA	V	P	65%	3%	20%	0%	13%	4%	98%	2%	1%	2%	0%	0%
6 ACONCAGUA	V	N-P	41%	5%	18%	5%	40%	10%	97%	3%	0%	0%	2%	3%
7 MAIPO	RM	N-P	13%	2%	10%	3%	76%	1%	92%	10%	0%	0%	7%	10%
8 RAPEL	VI	P-N	19%	2%	9%	5%	71%	7%	88%	2%	8%	3%	3%	5%
9 MATAQUITO	VII	P-N	30%	1%	23%	15%	46%	19%	88%	14%	4%	5%	6%	9%
10 MAULE	VII	P-N	27%	9%	9%	9%	63%	16%	76%	13%	6%	2%	17%	12%
11 ITATA	VII	P-N	16%	-	0%	-	83%	-	63%	-	13%	-	23%	-
12 IMPERIAL	IX	P-N	26%	13%	25%	9%	47%	20%	91%	2%	5%	1%	2%	2%
13 TOLTEN	IX	P-N	14%	-	11%	-	73%	-	55%	-	17%	-	26%	-
14 PUERTOMONTT	X	P	9%	-	14%	-	76%	-	81%	-	9%	-	9%	-

precipitación máxima anual en 24, 48 y 72 hrs, considerando en dato por año, correspondiente al mayor valor en cada duración (en cada período estacional), calculando la cantidad de días durante los 3 días precedentes a dicho evento, si fuera necesario al caso anterior.

La ventaja de TABLA 3 FRECUENCIAS RELATIVAS PROMEDIO POR CUENCA

N° CUENCA	REGION	REGIMEN	PMAx 48 hrs									
			ESTACION INACTIVA						ESTACION CRECIMIENTO			
			MAYO-AGOSTO						SEPTIEMBRE-ABRIL			
			I (<12.7mm)		II (12.7-28)		III (>28)		I (<35.6mm)		II (35.6-53.5)	III (>53.5)
PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.			
1 ELQUI	V	P-N	78.8%	-	9.1%	-	12.1%	-	100.0%	-	0.0%	-
2 LIMARI	V	P-N	84.9%	6.9%	8.3%	5.1%	6.8%	6.5%	99.7%	1.0%	0.0%	1.0%
3 CHOAPA	V	P-N	80.9%	5.8%	5.4%	3.0%	13.6%	7.1%	99.3%	1.7%	0.7%	1.7%
4 QUILMARI	V	P	66.0%	9.5%	6.4%	9.7%	27.6%	6.8%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5 PETORCA	V	P	75.4%	2.4%	14.8%	8.8%	9.8%	6.4%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6 ACONCAGUA	V	N-P	56.0%	8.4%	14.7%	7.9%	29.3%	9.3%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7 MAPO	RM	N-P	27.9%	4.1%	13.2%	7.8%	58.9%	3.7%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8 RAPEL	VI	P-N	39.0%	6.8%	12.6%	3.0%	46.4%	3.9%	90.1%	8.0%	5.9%	1.1%
9 MATAQUITO	VII	P-N	45.3%	9.5%	16.6%	7.9%	38.1%	14.3%	90.4%	11.2%	5.8%	7.0%
10 MAULE	VII	P-N	29.7%	10.0%	13.2%	7.0%	57.1%	15.4%	85.0%	8.5%	7.1%	4.3%
11 ITATA	VIII	P-N	13.3%	-	16.7%	-	70.0%	-	76.7%	-	6.7%	-
12 IMPERIAL	IX	P-N	34.2%	6.0%	21.8%	2.7%	43.9%	7.7%	95.6%	3.8%	2.9%	2.6%
13 TOLTEN	IX	P-N	5.9%	-	2.9%	-	91.2%	-	61.8%	-	17.6%	-
14 PUERTOMONTT	X	P	9.5%	-	9.5%	-	81.0%	-	81.0%	-	14.3%	-

En las Figuras N°s 1 a la 4 se grafican las cifras correspondientes a las precipitaciones de 24, 48 y 72 horas. Las series diarias y en 72 hr se pueden observar de distintos tipos de precipitación se deducen algunas conclusiones, algunas de ellas esperables y sorprendentes.

TABLA 4 FRECUENCIAS RELATIVAS PROMEDIO POR CUENCA

N° CUENCA	REGION	REGIMEN	PMAx 72 hrs									
			ESTACION INACTIVA						ESTACION CRECIMIENTO			
			MAYO-AGOSTO						SEPTIEMBRE-ABRIL			
			I (<12.7mm)		II (12.7-28)		III (>28)		I (<35.6mm)		II (35.6-53.5)	III (>53.5)
PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.	PROM.	D.E.			
1 ELQUI	V	P-N	78.8%	-	9.1%	-	12.1%	-	100.0%	-	0.0%	-
2 LIMARI	V	P-N	84.9%	6.9%	8.3%	5.1%	6.8%	6.5%	99.7%	1.0%	0.0%	1.0%
3 CHOAPA	V	P-N	80.9%	5.8%	5.4%	3.0%	13.6%	7.1%	99.3%	1.7%	0.7%	1.7%
4 QUILMARI	V	P	66.0%	9.5%	6.4%	9.7%	27.6%	6.8%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5 PETORCA	V	P	75.4%	2.4%	14.8%	8.8%	9.8%	6.4%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6 ACONCAGUA	V	N-P	56.0%	8.4%	14.7%	7.9%	29.3%	9.3%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7 MAPO	RM	N-P	27.9%	4.1%	13.2%	7.8%	58.9%	3.7%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8 RAPEL	VI	P-N	39.0%	6.8%	12.6%	3.0%	46.4%	3.9%	90.1%	8.0%	5.9%	1.1%
9 MATAQUITO	VII	P-N	45.3%	9.5%	16.6%	7.9%	38.1%	14.3%	90.4%	11.2%	5.8%	7.0%
10 MAULE	VII	P-N	29.7%	10.0%	13.2%	7.0%	57.1%	15.4%	85.0%	8.5%	7.1%	4.3%
11 ITATA	VIII	P-N	13.3%	-	16.7%	-	70.0%	-	76.7%	-	6.7%	-
12 IMPERIAL	IX	P-N	34.2%	6.0%	21.8%	2.7%	43.9%	7.7%	95.6%	3.8%	2.9%	2.6%
13 TOLTEN	IX	P-N	5.9%	-	2.9%	-	91.2%	-	61.8%	-	17.6%	-
14 PUERTOMONTT	X	P	9.5%	-	9.5%	-	81.0%	-	81.0%	-	14.3%	-

Durante el período de verano, como era de esperarse, la condición preponderante en todas las regiones es la condición seca. En el sector norte, en forma abrumadora; sólo al sur del Maule, para 24 horas; del Itata, para 48 horas y del Toltén, para 72 horas, aparecen algunos eventos no secos algo significativos, pero aún de escasa ocurrencia. Se mantiene en general, el efecto de aumento de la condición antecedente seca, para lluvias de mayor duración.

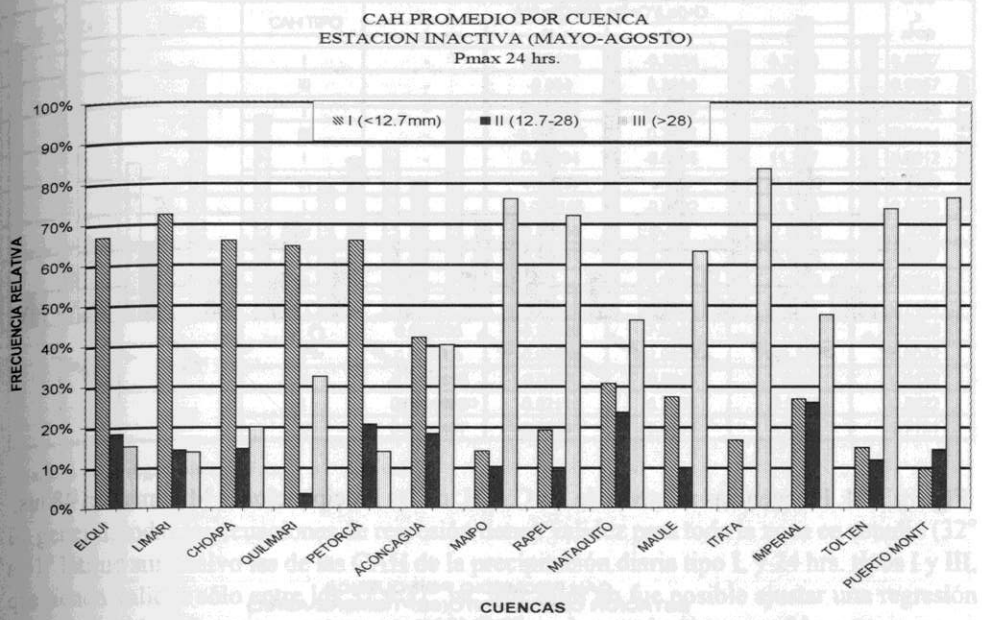


Figura N°1. Frecuencias relativas de las C.A.H. de las Precipitaciones Máximas en 24 hrs.

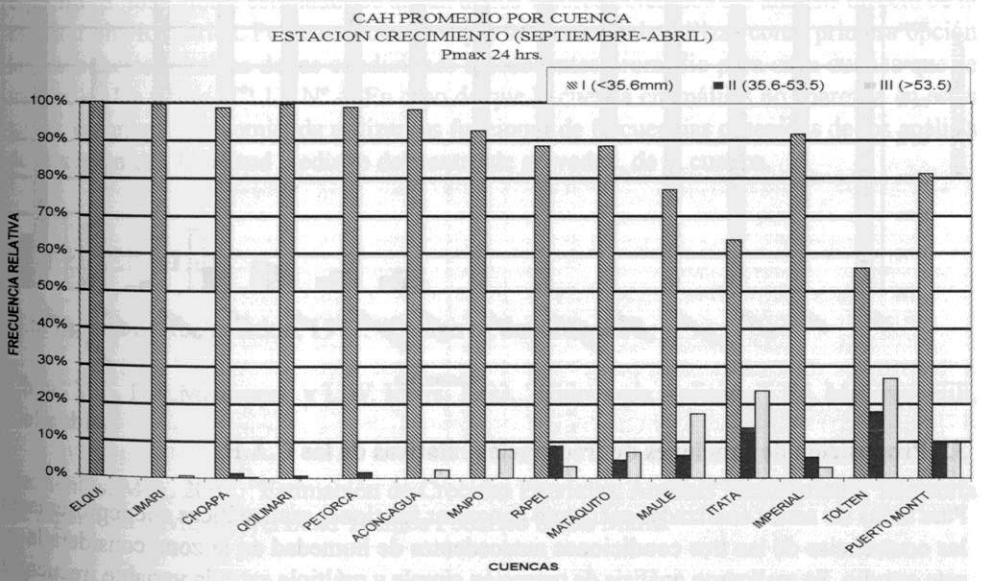


Figura N°2. Frecuencias relativas de las C.A.H. de las Precipitaciones Máximas en 24 hrs.

Figura N°3. Frecuencias relativas de las C.A.H. de las Precipitaciones Máximas en 48 hrs.

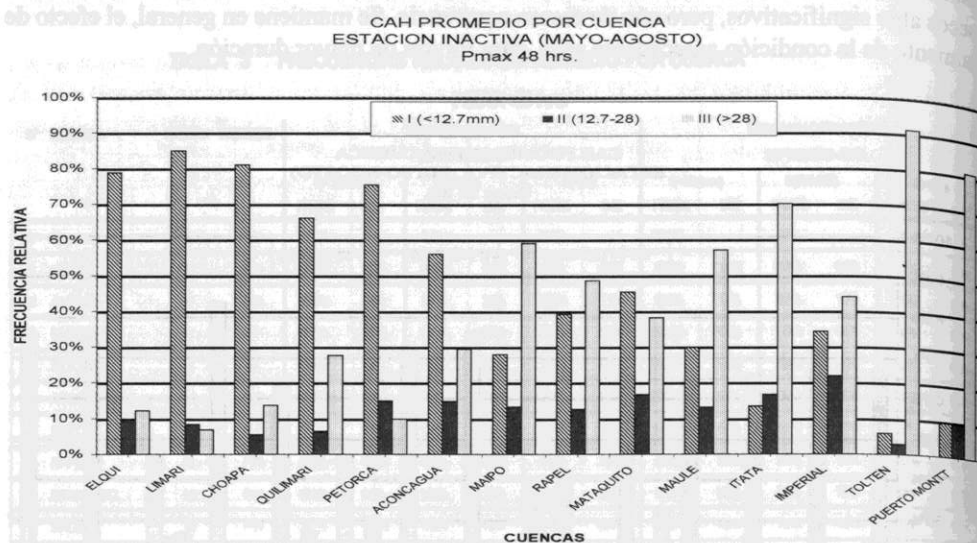
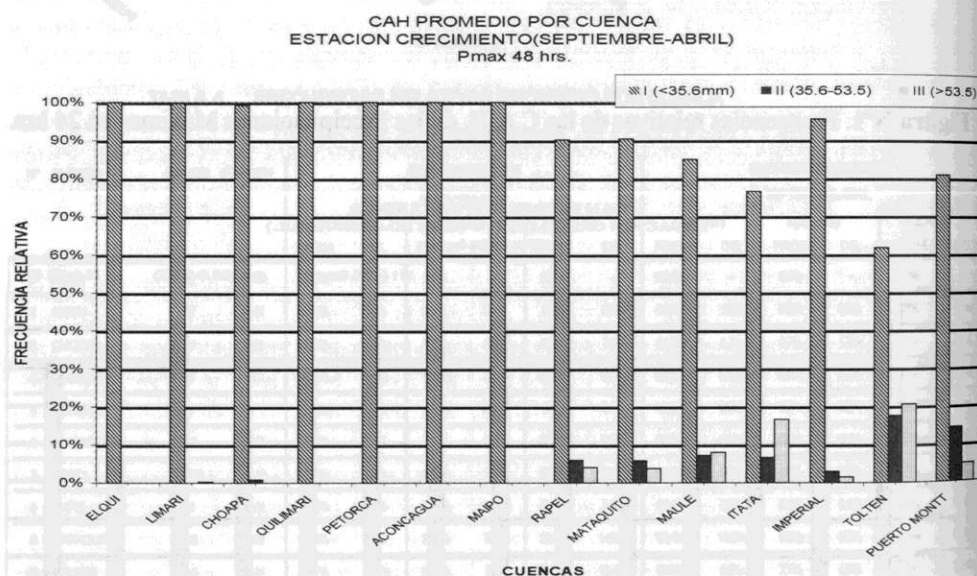


Figura N°4. Frecuencias relativas de las C.A.H. de las Precipitaciones Máximas en 48 hrs.



3.3 Proposición de funciones de frecuencias relativas de las C.A.H.

Para todas las series analizadas se intentó encontrar funciones matemáticas que representaran las ocurrencias de las tres condiciones antecedentes de humedad en la zona considerada en este estudio. Se realizaron análisis de regresión simple y múltiple entre la variable frecuencia relativa de las CAH y la Latitud, Longitud y Altitud. En general no se encontró ningún grado de dependencia significativa con las dos últimas variables. Con la Latitud, como ya se ha adelantado, sí se encontró una fuerte dependencia, la cual fue posible representar con relativa exactitud ajustando ecuaciones polinómicas de órdenes 3 (cúbica) a 1 (lineal).

Para satisfacer la condición de que la suma de las tres frecuencias relativas para una misma latitud sea 100%, se obtuvieron ecuaciones de regresión para las dos frecuencias con mejores coeficientes de correlación, y la otra se calculó como la diferencia de las dos anteriores. En la Tabla N°5 se muestran las ecuaciones de regresión y sus respectivos coeficientes de correlación.

Tabla 5. Ecuaciones de regresión para las funciones de frecuencia relativa de las CAH.

ESTACION	SERIE	CAH TIPO	A*(Lat) ³ +B*(Lat) ² +C*(Lat)+D				r ²
			A	B	C	D	
I N A C T I V A	Diaria	I	-	0.00325	-0.2854	6.3935	0.9207
		III	-	-0.004	0.3334	-6.305	0.8357
	P24	I	-	0.00828	-0.6537	13.024	0.7896
		III	-	-0.009135	0.7128	-13.168	0.7194
	P48	I	-	0.00684	-0.5645	11.757	0.8612
		III	-	-0.00487	0.418	-8.1849	0.7888
	P72	I	-	0.007145	-0.5852	12.148	0.8825
		III	-	-0.00468	0.401	-7.8693	0.8049
C R E C I M I E N T O	Diaria	I (*)	-	-0.00641	0.3883	-4.9074	0.8257
		II	-	-	0.0125	-0.3743	0.7724
	P24	I (*)	-0.0027	0.256	-8.0985	86.479	0.7484
		III (*)	0.002335	-0.22226	7.0518	-74.579	0.6589
	P48	I	0.000805	-0.08558	2.9893	-33.397	0.6042
		II	-0.0001815	0.0197	-0.6941	7.9896	0.6122
	P72	I	0.0001825	-0.02111	0.7868	-8.5516	0.5922
		II	0.0001487	-0.01361	0.4169	-4.2858	0.7131

validez de la regresión entre 32 y 37° Lat. Sur.

En general, todas las ecuaciones de regresión tienen validez para toda la zona en estudio (32° a 41° latitud sur), salvo las de las CAH de la precipitación diaria tipo I, y 24 hrs. tipos I y III, que tienen validez sólo entre los 32 y 37° lat. Sur, pues no fue posible ajustar una regresión única para toda la zona, que entregara un coeficiente de correlación aceptable.

Algunas de las funciones presentadas anteriormente resultan en coeficientes de correlación buenos, siendo otras veces sólo aceptables (en general r² > 0.6), por lo que en algunos casos específicos, los valores estimados se alejan de los valores obtenidos del análisis directo de la estación pluviométrica. Por este motivo es que se recomienda utilizar como primera opción las frecuencias relativas de las condiciones antecedentes promedio para cada cuenca que se indican en las tablas N°s 1 a N° 4. En caso de que la cuenca en análisis no aparezca en estas tablas, entonces se recomienda utilizar las funciones de frecuencias obtenidas de los análisis de regresión con la latitud media, o del centro de gravedad, de la cuenca.

REFERENCIAS

- U.S. Bureau of Reclamation, 1977. "Design of Small Dams".
- Chow, V.T., D.R.Maidment, y L.W. Mays. 1993. "Hidrología Aplicada". Ed. McGraw-Hill, Colombia.
- Barrientos, M.A. 2001. "Estimación de Crecidas Pluviales, Análisis Multivariado" Memoria de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Federico Santa María.

Anexo 3. Frecuencias relativas de las CAH-serie Precipitaciones Máx. Anuales en 72 Hrs

Nº	CUENCA	ESTACION	LATITUD SUR	Nº AÑOS	ESTACION INACTIVA M AYO-AGOSTO			ESTACION CRECIMIENTO SEPTIEMBRE-ABRIL		
					I <12.7	II 12.7-28	III >28	I <35.6	II 35.6-53.5	III >53.5
1	ELQUI	EMBALSE LA LAGUNA	30.20	32	84.8%	6.1%	9.1%	100.0%	0.0%	0.0%
2	LIMARI	HURTADO	30.28	26	85.2%	11.1%	3.7%	100.0%	0.0%	0.0%
3	LIMARI	PICHASCA	30.38	27	92.9%	3.6%	3.6%	100.0%	0.0%	0.0%
4	LIMARI	SAMOA	30.40	18	94.4%	5.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
5	LIMARI	EMBALSE RECOLETA	30.50	27	96.4%	3.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
6	LIMARI	RAPEL	30.72	27	89.3%	10.7%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
7	LIMARI	EL TOME	30.82	27	89.3%	7.1%	3.6%	100.0%	0.0%	0.0%
8	LIMARI	PEDREGAL	30.85	18	89.5%	0.0%	10.5%	100.0%	0.0%	0.0%
9	LIMARI	CAREN	30.85	27	85.7%	7.1%	7.1%	100.0%	0.0%	0.0%
10	LIMARI	TASCADERO	31.02	27	84.6%	7.7%	7.7%	100.0%	0.0%	0.0%
11	LIMARI	TULAHUEN	31.02	27	85.7%	3.6%	10.7%	100.0%	0.0%	0.0%
12	LIMARI	COMBARBALA	31.02	20	81.0%	14.3%	4.8%	100.0%	0.0%	0.0%
13	LIMARI	LAS RAMADAS	31.03	27	85.7%	7.1%	7.1%	100.0%	0.0%	0.0%
14	LIMARI	COGOTI 18	31.08	27	82.1%	7.1%	10.7%	100.0%	0.0%	0.0%
15	CHOAPA	SANTA VIRGINIA	31.55	27	92.3%	0.0%	7.7%	100.0%	0.0%	0.0%
16	CHOAPA	HACIENDA HUINTIL	31.57	30	86.7%	6.7%	6.7%	100.0%	0.0%	0.0%
17	CHOAPA	MINCHA NORTE	31.58	20	85.7%	9.5%	4.8%	100.0%	0.0%	0.0%
18	CHOAPA	ILLAPEL DGA	31.63	20	81.0%	9.5%	9.5%	100.0%	0.0%	0.0%
19	CHOAPA	SAN AGUSTIN	31.72	36	86.5%	5.4%	8.1%	100.0%	0.0%	0.0%
20	CHOAPA	LIMAHUIDA	31.75	30	86.7%	3.3%	10.0%	100.0%	0.0%	0.0%
21	CHOAPA	MAL PASO	31.75	27	85.2%	3.7%	11.1%	100.0%	0.0%	0.0%
22	CHOAPA	SALAMANCA	31.77	20	76.2%	4.8%	19.0%	100.0%	0.0%	0.0%
23	CHOAPA	CUNCUMEN	31.90	35	80.6%	6.5%	12.9%	100.0%	0.0%	0.0%
24	CHOAPA	LA TRANQUILLA	31.90	28	79.3%	10.3%	10.3%	100.0%	0.0%	0.0%
25	CHOAPA	COIRON	31.90	20	76.2%	9.5%	14.3%	100.0%	0.0%	0.0%
26	QUILIMARI	EL NARANJO	32.03	11	83.3%	0.0%	16.7%	100.0%	0.0%	0.0%
27	QUILIMARI	EMBALSE CULIMO	32.07	22	77.3%	0.0%	22.7%	100.0%	0.0%	0.0%
28	QUILIMARI	INFIERNILLO	32.07	11	66.7%	8.3%	25.0%	100.0%	0.0%	0.0%
29	QUILIMARI	QUEBRADA SECA	32.07	12	69.2%	0.0%	30.8%	100.0%	0.0%	0.0%
30	QUILIMARI	LOS CONDORES	32.12	17	75.0%	12.5%	12.5%	100.0%	0.0%	0.0%
31	QUILIMARI	QUELON	32.15	21	72.7%	18.2%	9.1%	100.0%	0.0%	0.0%
32	QUILIMARI	QUEBRADA EL MANZANO	32.18	11	66.7%	0.0%	33.3%	100.0%	0.0%	0.0%
33	PETORCA	CHINCOLCO	32.22	19	89.5%	10.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
34	PETORCA	HACIENDA EL SOBRANTE	32.23	36	82.9%	5.7%	11.4%	100.0%	0.0%	0.0%
35	ACONCAGUA	LOS ANDES	32.83	21	52.4%	33.3%	14.3%	100.0%	0.0%	0.0%
36	ACONCAGUA	VILCUYA	32.87	28	72.4%	6.9%	20.7%	100.0%	0.0%	0.0%
37	ACONCAGUA	RIECILLOS	32.93	29	60.0%	16.7%	23.3%	100.0%	0.0%	0.0%
38	MAIPO	SAN GABRIEL	33.78	13	30.8%	7.7%	61.5%	100.0%	0.0%	0.0%
39	MAIPO	LAS MELOSAS	33.90	17	37.5%	25.0%	37.5%	93.8%	0.0%	6.3%
40	CLARO-RAPEL	CENTRAL LAS NIEVES	34.48	22	42.1%	15.8%	42.1%	100.0%	0.0%	0.0%
41	TINGUIRIRICA-RA	SAN FERNANDO	34.58	20	35.0%	15.0%	50.0%	100.0%	0.0%	0.0%
42	TINGUIRIRICA-RA	LA RUFINA	34.73	42	40.5%	11.9%	47.6%	92.9%	7.1%	0.0%
43	MATAQUITO	CURICO	34.98	20	40.0%	35.0%	25.0%	100.0%	0.0%	0.0%
44	MATAQUITO	LOS QUEÑES	35.00	34	38.2%	11.8%	50.0%	82.4%	8.8%	8.8%
45	MATAQUITO	LONTUE	35.03	22	58.8%	11.8%	29.4%	100.0%	0.0%	0.0%
46	MATAQUITO	POTRERO GRANDE	35.20	28	53.6%	14.3%	32.1%	96.4%	3.6%	0.0%
48	MAULE	EL GUINDO	35.27	35	48.6%	22.9%	28.6%	100.0%	0.0%	0.0%
51	MAULE	HUAPI	35.58	29	36.7%	6.7%	56.7%	93.3%	3.3%	3.3%
52	MAULE	COLORADO	35.62	35	25.0%	27.8%	47.2%	97.2%	0.0%	2.8%
53	MAULE	ARMERILLO	35.70	35	37.1%	11.4%	51.4%	91.4%	5.7%	2.9%
54	MAULE	EMBALSE ANCOA	35.90	37	27.0%	8.1%	64.9%	94.6%	0.0%	5.4%
57	MAULE	BULLILEO	36.28	37	24.3%	10.8%	64.9%	91.9%	0.0%	8.1%
58	ITATA	DIGULLIN	36.87	29	20.0%	10.0%	70.0%	90.0%	6.7%	3.3%
59	IMPERIAL	LUMACO	38.15	48	35.4%	16.7%	47.9%	95.8%	2.1%	2.1%
60	IMPERIAL	PUERTO NUEVO	38.73	43	30.2%	23.3%	46.5%	95.3%	4.7%	0.0%
62	TOLTEN	VILLARRICA	39.28	34	8.8%	5.9%	85.3%	67.6%	17.6%	14.7%
63	CUENCAS E ISLAS	PUERTO MONTE	41.45	24	19.0%	14.3%	66.7%	81.0%	19.0%	0.0%

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

MODELACIÓN DEL ÁREA CUBIERTA DE NIEVE CON AUTÓMATAS CELULARES

BÁRBARA ORELLANA BOBADILLA¹
BONIFACIO FERNÁNDEZ LARRAÑAGA²

RESUMEN

Predecir y entender la variabilidad espacio temporal de la nieve es clave en la hidrología de cuencas de montaña, debido a que generalmente ella es responsable de los máximos caudales anuales. La cobertura nival representa la distribución espacial de la nieve, y por lo tanto de todas las variables que le están relacionadas. Sin embargo, por lo general se cuenta con información puntual, por lo que no se dispone de patrones y/o promedios espaciales representativos.

El presente estudio modela el área cubierta de nieve durante la temporada de deshielo, mediante Autómatas Celulares con reglas de transición totalísticas, probabilísticas, y no homogéneas, considerando relaciones empíricas del fenómeno en función de la elevación del terreno. La zona de estudio corresponde a la cuenca del río Maule, donde se cuenta con imágenes satelitales del área nival.

Se efectúan simulaciones con lo que se obtienen planos de probabilidad promedio de nieve, los que se comparan con la información disponible. De esta forma el procedimiento planteado permite conocer la probabilidad promedio espacial de la nieve durante la temporada de deshielo.

¹ Alumna de Magíster, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.

² Profesor, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.