

UN METODO TERMODINÁMICO PARA EL PRONOSTICO CUANTITATIVO DE LA PRECIPITACIÓN CONVECTIVA PARA EL ALERTA DEL GRAN MENDOZA

Pedro Carlos Fernández (1); Sergio Fattorelli (2)

(1) Investigador del Conicet en el INA (Centro Regional Andino)

(2) Profesor Titular de la Universidad de Padua – Italia
Belgrano 210 Mendoza E-mail: pcfernandez@ina.gov.ar

Resumen

Luego de 19 años de operación del sistema de alerta hidrológica del Gran Mendoza, se ha adquirido una valiosa experiencia en base a aciertos y errores. El mayor problema detectado es el escaso tiempo que se dispone para tomar acciones preventivas entre el registro de la lluvia en la red telemétrica (desde minutos a poco mas de una hora) y el momento de la creciente. Resultó claro entonces la importancia de la “ prealerta” en base al análisis adecuado de la información de las imágenes de radar. En este sentido ha sido clave el apoyo del radar de la Provincia de Mendoza y últimamente de la empresa americana Weather Modification Inc. Estas imágenes se transmiten últimamente en tiempo real por Internet. Como las condiciones termodinámicas de la atmósfera resultan premonitoras de las tormentas el aporte en ese sentido de los técnicos del SMN son también un valioso ingrediente.

Desde 1995 principalmente en Colorado (USA) y ahora extendido a otros lugares se viene desarrollando un método denominado QPF (Quantative Precipitation Forecasting) que pretende realizar el pronóstico puntual y a muy corto plazo (30 minutos a dos o tres horas) de la posible precipitación. (nowcasting) Este método se hace fundamentalmente usando datos de radiosondeos. En la Argentina los radiosondeos, son escasos y sus datos no están, en tiempo real, a la mano del hidrólogo en un sistema de alerta hidrológica como el de Mendoza. Este trabajo presenta los resultados de una investigación que mediante el desarrollo de gráficos ad. hoc. permiten obtener, aproximadamente, en base a datos reales de las condiciones atmosféricas de superficie un radiosondeo hipotético y mediante tablas de muy fácil manejo obtener aproximaciones de la posible precipitación convectiva que ocurrirá durante una tormenta, agregando un elemento mas al trío de: Red telemétrica, Radar y anuncios del SMN.

Se presentan los resultados de dos temporadas en base a lluvia real (red telemétrica) y presunta (PCP) que resultan halagüenos.

Palabras Clave: *Alerta hidrológica; Pronóstico; Precipitación convectiva*

INTRODUCCIÓN

Luego de 19 años de operación del sistema de alerta hidrológica del Gran Mendoza, se ha adquirido una valiosa experiencia en base a aciertos y errores. El mayor problema detectado es el escaso tiempo que se dispone para tomar acciones preventivas entre el registro de la lluvia en la red telemétrica (desde minutos a poco más de una hora) y el momento de la creciente. Resultó claro entonces la importancia de la “prealerta” en base al análisis adecuado de la información de las imágenes de radar. En este sentido ha sido clave el apoyo del radar de la Provincia de Mendoza y últimamente de la empresa americana Weather Modification., Inc. Como las condiciones termodinámicas de la atmósfera resultan premonitoras de las tormentas el aporte en ese sentido de los técnicos del SMN son también un valioso ingrediente. El sistema de alerta hidrológica del Gran Mendoza está compuesto entonces por tres componentes: Red meteorológica telemétrica (Figura 1), Radares digitalizados de la Provincia (3,2 y 10 cm) y de la empresa americana Weather Modification (5 cm) y pronósticos sobre días positivos o negativos para convección del SMN. Los pronósticos meteorológicos a corto y mediano plazo (desde 24 horas a 3 ó 4 días) tienen cada día más exactitud gracias a las tecnologías que se van incorporando como las imágenes de satélite. Los pronósticos de alta resolución (áreas pequeñas), casi puntuales, y para tiempos breves (30 minutos a 6 horas) son ahora motivo de investigación sobre todo en relación con las tormentas convectivas que abarcan áreas relativamente chicas y se desarrollan en tiempos breves (30 minutos a 3 ó 4 horas). La brecha importante que existe entre los pronósticos meteorológicos actuales y éstos de **alta resolución y a corto plazo es el dominio del pronóstico “acá y ahora” ó en inglés del “nowcasting”**. En suma el tiempo total, interés de estos pronósticos, va desde pocos minutos hasta 3 a 6 horas. Pero desde el punto de vista práctico actualmente estos pronósticos cambian rápidamente, ante condiciones de tiempo severas. El principal objetivo del “nowcasting” es lograr predicciones precisas sobre la intensidad y la localización de tormentas convectivas sobre áreas chicas (menores de 3.000 km²).

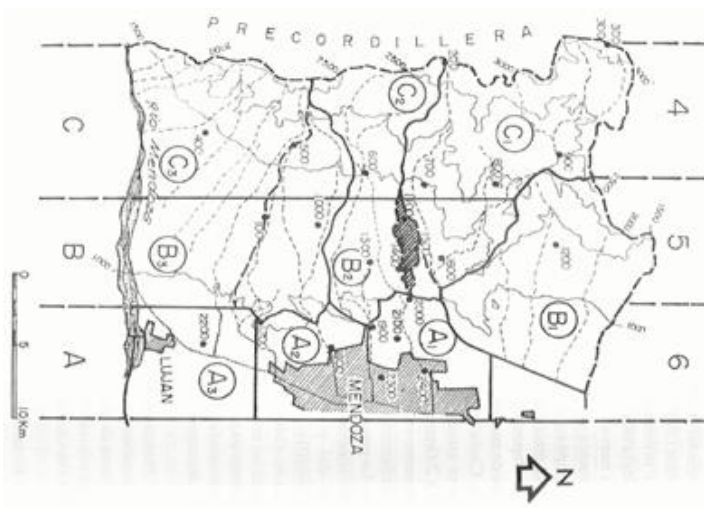


Figura 1 Red Meteorológica Telemétrica

OBJETIVOS Y CONCEPTOS BÁSICOS

En el caso de Mendoza, el tiempo disponible para el aviso “lead time” es muy corto, desde minutos hasta poco más de una hora.

Desde 1995 principalmente en Colorado (USA) y ahora extendido a otros lugares, se viene desarrollando un método denominado QPF (Quantitative Precipitation Frecasting) (Henz, John, 1993, 1995) como una herramienta de ayuda para obtener pronósticos en un lugar, de precipitaciones convectivas. Este método de “nowcasting” se basa en la existencia de datos locales de radiosondeos y el uso de diagramas termodinámicos de la atmósfera.

En la Argentina, los datos de radiosondeo son escasos y de existir solo están disponibles en pocos lugares y muy lejos de estar a la mano, en tiempo real, del hidrólogo involucrado en la operación de un sistema de alerta hidrológico muy puntual, como el del Gran Mendoza.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de herramientas ad hoc, (tablas y gráficos) de fácil manejo que permitan reconstruir, con los datos corrientes en superficie, de temperatura y humedad relativa un radiosondeo hipotético para obtener aproximaciones de la posible precipitación convectiva que puede ocurrir durante una tormenta, agregando de esta manera un elemento más al trío de: red telemétrica, radar y anuncios del SMN. Es mas, en localidades pequeñas sin datos de redes terrestres, ni de radar, este método puede ayudar a estimar anticipadamente la severidad de una posible tormenta convectiva.

METODOLOGÍA

Siendo este un método físico basado en las condiciones atmosféricas de superficie, su desarrollo es esencialmente termodinámico. Bajo este concepto los datos básicos son aquellos de temperatura y humedad relativa en un lugar y en momentos previos a la ocurrencia de la tormenta, que para el caso del área del Gran Mendoza estos datos se obtienen con actualización de una hora.

El nivel de humedad en la atmósfera de superficie es el primer indicador de la posibilidad de una tormenta severa, **es decir esa es una condición necesaria, aunque no es suficiente.**

La experiencia local indica que las tormentas severas de verano son inducidas, en el área, por un importante aporte de aire húmedo (generalmente provenientes de vientos del sudeste) asociados a la presencia simultánea de baguadas de altura provenientes del Pacífico a través de Los Andes que producen la elevación de esas masas de aire húmedo y disparan la formación de celdas convectivas.

Esta situación que induce a la formación de celdas, es en cierta forma indicada por el SMN, a los operadores de la red y del radar, **como aviso de días positivos o negativos.**

Si el tiempo de respuesta hidrológica es muy corto, esperar a que la lluvia se registre en la red telemétrica para pronosticar la creciente, no es una operación sensible. Además, en el caso cada vez mas corriente, que se opere en línea con un modelo de lluvia-caudal la extensión del pronóstico en el tiempo por venir (nowcasting) es una operación difícil de lograr por lo menos en forma relativamente robusta.

La incorporación, entonces, de este pronóstico “termodinámico” sobre la posible lluvia a corto plazo resulta muy adecuada como input de modelos de lluvia-caudal para pronósticos de 1 a 6 horas.

En una estación meteorológica completa, además de tener el dato de humedad relativa, se tiene por medición con higrómetro y tablas adecuadas, el valor del punto de rocío y también de relación de mezcla y humedad específica. **Estos valores son los realmente importantes para diagnosticar el grado de humedad que torna sensible, para la generación de lluvias, a la atmósfera de un lugar.**

Definiciones sobre humedad atmosférica

Se define **como humedad específica (qv)** de la atmósfera al cociente de la densidad del vapor de agua y la densidad del aire húmedo.

$$qv = \frac{\rho v}{\rho a} \dots \quad (1)$$

y expresado en función de la presión atmosférica (P) y de la presión de vapor de agua (e) es:

$$qv = 622 \frac{e}{P} \quad (2)$$

donde e y P están en milibares y qv en g/kg.

La humedad absoluta es el peso del vapor de agua por unidad de volumen de aire húmedo y se expresa en g de vapor por m³ de aire. O sea la humedad absoluta varía si el aire se dilata o se contrae por variaciones de temperatura.

En cambio el peso de 1 kg de aire seguirá siendo igual o sea la humedad específica no varía con los cambios de temperatura.

La forma común de expresar la humedad del aire es como “humedad relativa” - Ø que es: “la relación porcentual de la presión de vapor, a la temperatura ambiente (e) y la que tendría si el aire estuviera saturado a esa temperatura”. (es)

$$\phi = 100 \frac{e}{es} \dots \quad (3)$$

Otra expresión importante es la relación de mezcla (RM) que es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.

$$RM = \frac{mv}{md} \dots \quad (4)$$

como $qv = 0,622 \frac{e}{P}$ (expresada en g/g)

En la relación de mezcla RM se reemplaza P (presión de aire húmedo) por P-e (presión de aire seco).

$$\text{Es entonces} \quad RM = 0.622 \frac{e}{P - e} \quad (5)$$

ambas se expresan en g/g ó g/kg.

Como P es alrededor de 100 veces mayor que e en la práctica.

$$qv \cong RM = 0.622 \frac{e}{P} \quad (6)$$

El punto de rocío es la temperatura a la cual la humedad contenida en la atmósfera, en un determinado momento, se condensa, o sea el aire enfriado a presión constante (la presión atmosférica) se satura.(ver figura 2). En otras palabras es la temperatura a la cual el aire se encontraría saturado con su presión de vapor actual (e).

Al hablar de presión constante es evidente que el punto de rocío del aire a determinada presión será diferente si se consideran elevaciones distintas y por lo tanto cambia con la presión atmosférica. E igualmente ocurre con qv y con RM.

Todos estos conceptos resultan básicos para entender la metodología de esta técnica y la construcción del ábaco psicrométrico.

- Ábaco de carta psicrométrica diseñado para el pronóstico cuantitativo de la precipitación convectiva

En base a la ecuación de la carta psicrométrica (Lynsley et al, 1958) dada por,

$$e = e_s - 0.000367 p (T - T_w) \left(\frac{1 + T_w - 32}{1571} \right)$$

donde e es la presión real del vapor de agua, e_s es la presión del vapor de agua para aire saturado, ambas en milibares, P es la presión atmosférica de superficie (aire húmedo), en milibares, T es la temperatura de superficie y T_w es la temperatura del bulbo húmedo del psicrómetro (ambos en ° F), se desarrolla el ábaco. (Lipka, 1962)

El ábaco relaciona temperatura ambiente, humedad relativa (φ) y relación de mezcla RM, para permitir la determinación de la temperatura del punto de rocío T_d (aire saturado) correspondiente.

Este ábaco se construye haciendo uso de las tablas psicrométricas y de valores de e_s obtenidos de la tabla de propiedades del agua (Lynsley, et al, 1975), considerando una humedad relativa (φ) constante definida como la relación porcentual entre la presión de vapor, a la temperatura ambiente (e) y la que tendría si el aire estuviera saturado a esa temperatura (e_s) y a través de la determinación de la relación de mezcla RM en función de la ecuación (6) que relaciona presión de vapor (e) y la presión total de aire húmedo (P)

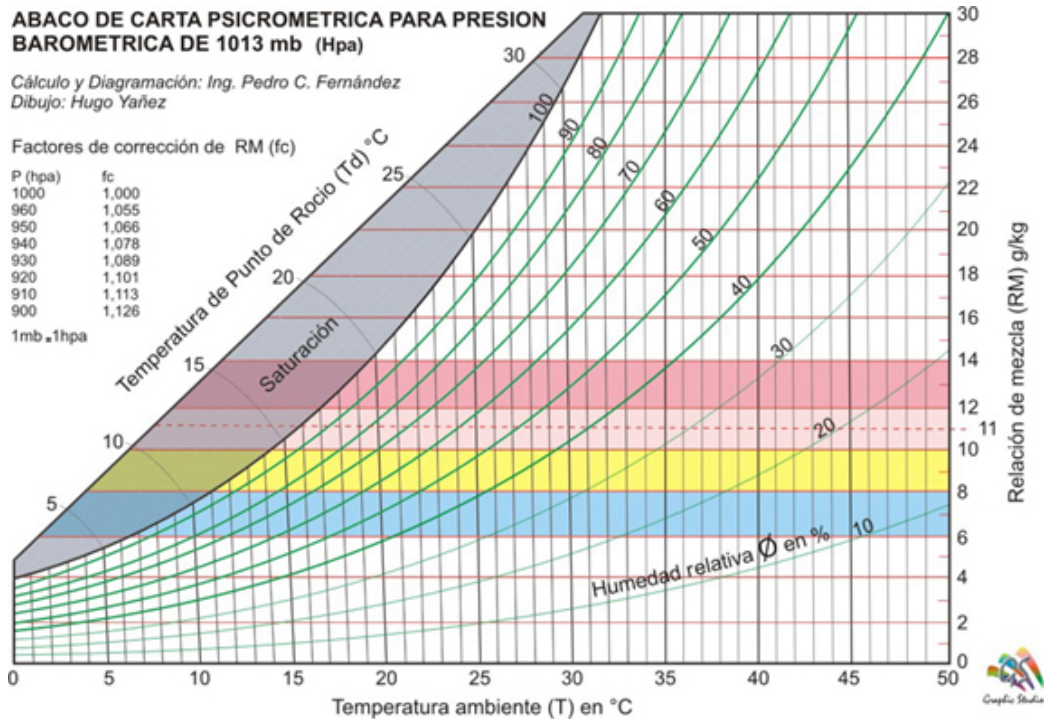


Figura 2. Ábaco de carta psicrométrica

De esta manera en la Figura 2 se tiene:

Eje x : Temperatura ambiente en °C

Eje y (derecho) Valores de relación de mezcla (RM) en g/kg

Eje inclinado (izquierda) Temperatura de punto de rocío (Td) en °C

Curvas: humedad relativa ambiente en %

Tabla de factor de conversión para presiones diferentes de la standard de 1013mb.

Este ábaco se basa en ecuaciones de la atmósfera standard a presión barométrica de 1013mb. Para extender su uso a presiones diferentes correspondientes a distintas elevaciones de la cota del terreno, se determina un factor de conversión por presión.

Para la corrección de los valores de RM, y por lo tanto, del punto de rocío, se hace uso de los datos de superficies disponibles como la humedad relativa, presión barométrica y temperatura. El cálculo se realiza sobre un rango de presiones barométricas entre 1000 y 900 mb para una temperatura constante de 20 °C y diferentes valores de humedad relativa.

Se observa que tomando la temperatura y la presión constante, al aumentar la humedad relativa aumenta la relación de mezcla RM y además, como la relación de mezcla es inversamente proporcional a la presión, a medida que esta disminuye la RM aumenta. De esta forma, estableciendo la relación entre el valor RM básico para una presión de 1013mb y los

correspondientes a las distintas presiones decrecientes, se obtienen los factores de corrección dados en la tabla 3.

Tabla 1 – Valores del factor de corrección (fc)

P (mb)	Fc
1000	1.000
960	1.055
950	1.066
940	1.078
930	1.089
920	1.101
910	1.113
900	1.126

El ábaco se ha desarrollado con fines prácticos para ser usado por operadores del sistema de alerta que solo disponen de los datos mencionados (temperatura y humedad relativa en superficie).

En el ábaco psicrométrico diseñado para este método figuran diferentes bandas de colores (entre 6 y 14 g/kg de RM) que indican los niveles de humedad atmosférica (celestes bajo-rosado oscuro, alto) que van tornando más peligrosa la condición atmosférica.

Concepto de “capa cálida”

La celda convectiva (Figura 3) está formada por “capas” que contienen agua en diferentes estados físicos según sea la temperatura de la celda en función de su altura.

La figura 3 sirve de ejemplo con el perfil de una celda típica en Mendoza, donde se ilustran simplícidamente tres capas. Es de hacer notar que esta celda “típica” es justamente aquella más frecuentes en la zona norte de Mendoza, pero los estudios de imágenes de radar (Fernández et al 2002, 2003) muestran celdas desde 5.000 hasta 20.000 metros (estas últimas poco frecuentes)

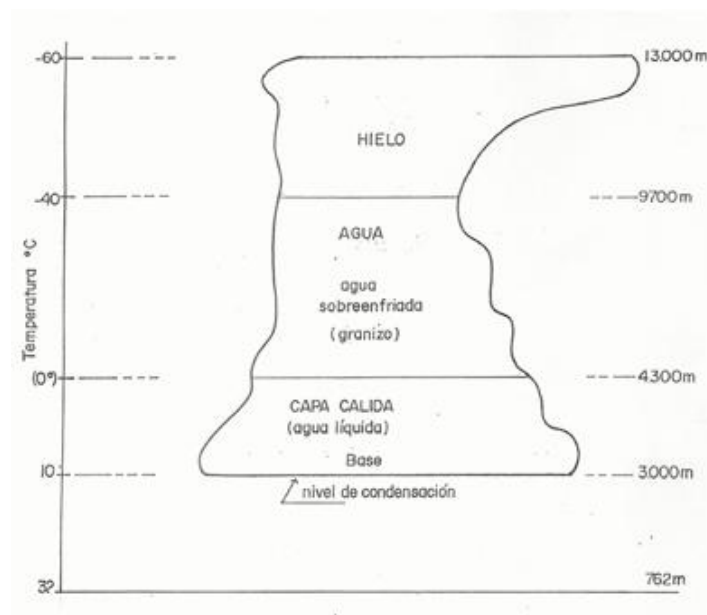


Figura 3 Perfil típico de celda convectiva en Mendoza

Según los estudios realizados en Estados Unidos por Maddox et al (1977) y Henz (1995) y en Argentina (WMI, 1999, Fernández et al 2003), el espesor de la “capa cálida” donde hay agua líquida está directamente relacionada con el potencial de la lluvia posible.

Un importante paso en este complejo problema se puede dar a través del análisis de las características térmicas de la celda usando **el diagrama termodinámico de la atmósfera, una vez que se detecten con radar o visualmente la formación de celdas.**

El diagrama termodinámico de la atmósfera, muy usado en meteorología, (Emagrama SMN) ha sido adaptado para ser usado en hidrología operativa. La figura 4 muestra ese diagrama para la ciudad de Mendoza, Argentina (Henz, J. 1993; Fernández, P. y H. Yáñez, 2003)

El uso de este diagrama enfocado hacia el problema hidrológico y con el agregado de conceptos físicos y datos meteorológicos corrientes se utiliza para QPF. El diagrama modificado de la figura 4 presenta las siguientes características.

Todas las unidades están en el Sistema Métrico Decimal y en grados centígrados. En el ángulo inferior izquierdo es un perfil de un corte transversal de la precordillera Andina a la latitud de la ciudad de Mendoza (Argentina).

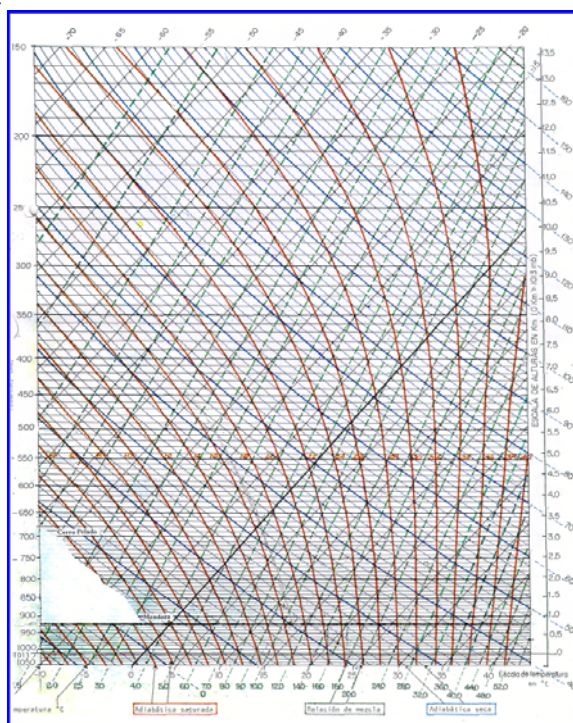


Figura 4 Diagrama termodinámico de la atmósfera

- La ordenada de la derecha indica las elevaciones (el 0 corresponde a 1013mb)
La ordenada de la izquierda indica la presión barométrica en mb
- En la abscisa se indica lo siguiente: Escala de temperaturas en °C. Que corresponde a las líneas llenas inclinadas hacia la derecha. Esta resaltada la línea de 0°C.
- y valores de relación de mezcla en g/kg correspondientes a las líneas punteadas inclinadas hacia la derecha (con menor inclinación que las de temperatura)

- Las líneas curvas, convexas hacia la derecha y con inclinación hacia la izquierda, corresponden a la adiabática saturada y los valores en °C se indican, por razones de claridad del gráfico, en la intersección de la adiabática con la horizontal de 550 mb.
- Las líneas curvas, cóncavas hacia la derecha con una suave inclinación hacia el ángulo superior derecho, corresponden a la adiabática seca y sus valores en °C se leen en la escala de temperaturas de la abscisa y en los valores indicados cada 10°C en la ordenada de la izquierda.

Está demostrado (WMO, 1986) que las condiciones atmosféricas de superficie, definen el “paquete” de aire húmedo que es obligado a ascender (por diversos mecanismos) y originan esta nube de desarrollo vertical.

Sondeo atmosférico hipotético

La tabla 4 (WMO, 1986) indica los valores de la lámina de agua precipitable en (milímetros) en una atmósfera pseudo adiabática saturada entre la presión de 1013 milibares y la presión indicada en la ordenada de la izquierda.

Tabla 2 - Agua precipitable en milímetros (se muestra solo hasta 15 °C de punto de rocío)

HPa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	°C
990	0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	
980	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
970	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	
960	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	
950	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	
940	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	
930	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7	
920	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8	
910	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8	9	
900	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	9	9	10	
890	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	11	
880	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	11	12	
870	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	11	12	13	
860	4	5	5	6	6	6	7	7	8	9	9	10	11	12	12	13	
850	5	5	5	6	6	7	7	8	9	9	10	10	11	12	13	14	
840	5	5	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	12	13	14	15	
830	5	5	6	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	
820	5	6	6	7	7	8	8	9	10	11	11	12	13	14	15	17	
810	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	
800	6	6	7	7	8	8	9	10	11	12	12	13	15	16	17	18	
790	6	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	
780	6	7	7	8	8	9	10	11	11	12	13	14	16	17	18	19	
770	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	
760	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14	15	17	18	19	21	
750	6	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	
740	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	22	
730	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	17	18	20	21	23	
720	7	7	8	9	10	11	11	12	13	15	16	17	18	20	22	23	
710	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	22	24	
700	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	24	
690	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	17	18	20	21	23	25	
680	7	8	9	10	10	11	12	13	15	16	17	19	20	22	24	25	
670	7	8	9	10	11	11	12	14	15	16	17	19	20	22	24	26	
660	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	24	26	
650	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	25	27	
640	8	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	20	21	23	25	27	
630	8	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	20	22	24	26	28	
620	8	9	9	10	11	12	13	14	16	17	19	20	22	24	26	28	
610	8	9	9	10	11	12	13	15	16	17	19	20	22	24	26	28	
600	8	9	9	10	11	12	13	15	16	17	19	21	23	25	27	29	
590	8	9	10	10	11	12	14	15	16	18	19	21	23	25	27	29	
580	8	9	10	11	11	13	14	15	16	18	19	21	23	25	27	30	
570	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	21	23	25	27	30	
560	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	20	21	23	26	28	30	
550	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	20	22	24	26	28	30	

En este cálculo es importante trabajar indistintamente con agua precipitable y relación de mezcla, ambos en milímetros

Resulta importante destacar que los valores de RM a diferentes elevaciones se puede obtener también del diagrama termodinámico de la atmósfera (Figura 4).

Partiendo del valor de temperatura en superficie ascendiendo por la línea de adiabática saturada se leen en el diagrama los valores de RM, en el punto de intersección de esa línea con la línea horizontal de la presión barométrica.

Tabla 3 – Tabla de cálculo final de índice de agua precipitable (PWI)

(1) Elev. Msnm	(2) Δ elev. m	(3) Presión mb	(4) Pw (mm)	(5) (g/kg)	(6) Fc.	(7) PWI
700 (*)	0				1.10	
2500	1800	750			3.325	
3500	2800	650			3.85	
4800	4100	550			4.55	
						Σ

(*) cota de la Ciudad de Mendoza.

Columna (1): Elevaciones sobre el nivel del mar de las franjas que se consideran para el cálculo.

Columna (2): Elevaciones sobre el nivel del terreno.

Columna (3): Presión en milibares de los niveles en que se divide la columna de atmósfera y corresponden a las elevaciones de la columna (1). El primer valor (en blanco) corresponde a la presión barométrica real de superficie (dato).

Columna (4): el primer valor es el que corresponde al RM, real; leído en el ábaco de figura 1. (dato).

Los demás valores son los que se obtienen de la tabla de la WMO (tabla 4) para las presiones indicadas en la columna (3) y el punto de rocío de superficie (Figura 2).

Columna (5): El primer valor es el primero de la columna (4) (RM de superficie). Los demás son las diferencias entre valores sucesivos de la columna (4).

Columna (6): Factores de corrección de cada franja para obtener los índices PWI en milímetros para cada franja (Columna (7)).

La columna (7): es el producto de (5) x (6). La suma de los valores de la columna (7) da el valor total del Índice de Precipitación PWI.

El valor del Índice de Precipitación obtenido de la suma se divide por la altitud media de las montañas de la precordillera para obtener el valor promedio del mismo (Henz, 1993).

Cálculo del espesor de la “capa cálida” o Factor de Precipitación (PF)

El Factor de Precipitación se toma para estimar la porción de la celda que es la más eficiente para producir precipitación líquida así como la capa superior de agua sobre enfriada (Figura 3) es la más eficiente para granizo.

Este análisis se basa en el concepto de que el ascenso del aire húmedo de superficie hasta el nivel de libre convección y luego hasta el punto de equilibrio (tope de la celda) puede calcularse con el diagrama termodinámico de la atmósfera obteniendo el valor del factor de precipitación. Para ello se parte de los valores de temperatura del aire y punto de rocío en superficie.

Partiendo del valor de temperatura (punto A) se asciende por la adiabática seca y con el valor del punto de rocío (punto B) se asciende por la relación de mezcla. Esas dos líneas se cruzan en un punto (punto C) que indica el nivel de condensación (base de la nube), desde ese punto se asciende por la adiabática saturada, hasta cortar la línea de 0°C (Punto D). Sustrayendo el valor de la altitud del punto D, menos la altitud del punto C, se obtiene en kilómetros el valor de PF.

El factor de ajuste para cada región llamado “Capa Cálida Regional” RWL el cual se obtiene al calibrar el método con datos terrestres de lluvias medidas varía con la altitud media del lugar como se muestra a continuación.

Elevación media (msnm)	RML (km)
≥ 900	1.5
≥ 700	2.5
100	3.5

Ecuaciones de cálculo

$$\bar{PWI} = \frac{\sum PWI}{\text{Altitud media}}$$

$$\text{Lluvia de 60 minutos (60')} = \bar{PWI} \cdot \frac{PF}{RWL}$$

$$\text{Lluvia de 30 minutos} \doteq (\text{Lluvia } 60') \quad (0.7)$$

$$\text{Lluvia de 10 minutos} \doteq (\text{Lluvia } 30') \quad (0.6)$$

Los factores 0.7 y 0.6 son empíricos y deben ser también ajustados con lluvias registradas.

APLICACIONES

Se realizó una aplicación de la metodología de cálculo para así poder evaluar la eficacia de la misma utilizando datos obtenidos a través del sistema de alerta hidrológica de la ciudad de Mendoza. Para el análisis se considera la tormenta del 20 de enero del 2002 producida a las 15:00. Los datos proporcionados por cada componente de este sistema son los siguientes:

T = 26°C
 e = 50%
 P = 933 mb (hpa)
 Día: positivo (SMN)

A través de la utilización del ábaco de carta psicrométrica es posible obtener los valores correspondientes a la relación de mezcla y temperatura de rocío, y las correcciones correspondientes. Utilizando los datos de temperatura ambiente y temperatura de rocío corregida se obtiene el factor de precipitación a través del diagrama termodinámico de la atmósfera. Además, si se realiza el cálculo para distintas elevaciones es posible, a través de la tabla 4, obtener esta cantidad en función de los valores de presión disponibles.

Para el cálculo del índice de agua precipitable (PWI) se hace uso de la tabla 3, y además, considerando que la altitud media de precordillera a la latitud de la ciudad de Mendoza es de 2 km, se determina el valor medio de este índice. El factor de ajuste por capa cálida regional RWL se asume con un valor de 1.6.

A continuación se muestran los resultados determinados con la metodología propuesta y se comparan con valores de precipitación obtenidos de la red telemétrica.

Tabla.4..Comparación con valores de precipitación de la red telemétrica

Duración (minutos)	Observado (mm)	Calculado (mm)
60	50 (58,6 x)	61,6
30	43	43,0
10	18	26,0

(x) Aeropuerto SMN

Tabla 5 características de las celdas

Fecha	Lluvia (mm)		PWI mm	PF Km	Tope de celda msnm	dbZ
	Observado	Calculado				
28/12/02	39	46	38,6	1,9	8000	52
03/01/03	(x)	72	46,22	2,5	14500	60
14/01/03	25 (38xx)	47	41,65	1,8	10000	45

Valores calculados con RWL = 1,6 km

(x) Sin valores registrados en la red telemétrica

(xx) Valor registrado en Aeropuerto de Mendoza (SMN)

Análisis comparativo de tormentas registradas para el ajuste local de la “Capa cálida regional” (RWL)

Se han considerado solo tormentas con registros en la red telemétrica y de 60 ó más minutos de duración.

$$Pp(60') = \bar{PWI} \cdot \frac{PF}{RWL}$$

Tomando como Pp(60') la lluvia observada

$$RWL_c = \frac{\bar{PWI} \cdot PF}{Pp(60')}$$

Las tormentas seleccionadas son convectivas con celdas identificadas con radar.

Tabla 6 ajuste de RWL

Fecha y Hora	Lluvia (mm)		PWI (mm)	PF (km)	Tope nube msnm	dBz	RWL (km)	RWLc (km)	Observaciones
	Obs.	Calc.							
20/01/02 hora 15-60' 30' 10'	(x) 58.6 40 18	60 42 25	40,08	2,4	12000	60	1,6	1.64	Se asume RWL=1,6
28/12/02 hora 23-60' 30' 10'	34 31 18	37 26 16	31,0	1,9	8000	50	1,6	1.73	Se asume RWL=1,6
03/01/03 hora 18:20-60' 30' 10'	63 -- --	72 50 30	46,0	2,5	14500	60	2,0	1.82	Datos en Tunuyán pluviómetro. Se asume RWL=2,0
14/01/03 hora 18:20-60' 30' 10'	(x) 38 22 10	37 26 15	41,6	1,8	8000	55	2,0	1.97	Se asume RWL=2,0
26-27/12/03 hora 23:50-60' 30' 10'	(xx) 60 33 11	70 49 29	56,0	2,5	15000	--	2,0	2.33	Se asume RWL=2,0
08-09/01/04 hora 0:10 -60' 30' 10'	51 44 18	58 40 24	46,6	2,5	--	--	2,0	2.28	Se asume RWL=2,0
10/03/04 hora 13:10-60' 30' 10'	-- 43 39	-- 51 30	50,58	2,9	10000	--	2,0	2.29	Se asume RWL=2,0
							∑ RWL	14.06 2.01	Se tomará RWL=2.00

(x) Aeropuerto (SMN) - (xx) Defensa Civil (estimado)

CONCLUSIONES

- El principal objetivo de esta investigación es el diseño de un procedimiento para estimar anticipadamente en el corto plazo (“nowcasting”) la posible precipitación convectiva, usando solamente datos corrientes de condiciones atmosféricas de superficie y sin contar con radiosondeos.
- Afortunadamente, la humedad en las capas bajas de la atmósfera es la más importante en la producción de precipitación. Cualquier índice de humedad atmosférica debe ser obtenido a partir de observaciones de superficie (WMO, 1986).
- Los métodos físicos (condiciones termodinámicas de la atmósfera) es una técnica adicional que se emplea para predicciones a corto plazo (1-6 horas) de tormentas convectivas (Yates, Davis et al, 2001).

- En el proyecto TELEFLEUR (“Telematics Assisted Handlings of Flood Emergencies in Urban Areas”) el pronóstico a corto plazo se basa en QPF (“Quantitative Precipitation Forecasting”). (Koussis, Antonis et al, 2003).
- Es muy posible que la predicción de la máxima precipitación posible en una tormenta convectiva esté altamente correlacionada con el espesor de la “capa cálida” de la celda convectiva. (Henz, John 1993, 2003).
- Lograr obtener pronósticos de corto plazo de lluvias convectivas para poner en operación estrategias de alerta en la presencia de eventos extremos es importante tomando en cuenta que en crecientes aluvionales el tiempo disponible (“lead time”) es muy breve.
- La investigación del “**factor regional de capa cálida**” (RWL) debe continuar para lograr una mayor confiabilidad en su verdadero valor y hacer de este método una herramienta eficaz que complemente a la información de radar y de la red telemétrica terrestre de mediciones de lluvia.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece muy especialmente los comentarios del Dr. John Henz durante la “2003 Conference of Flood Warning Systems” en Dallas-USA, en Octubre 2003.

BIBLIOGRAFÍA

- Bras, Rafael** (1990). *“Hydrology”* Addison-Wesley.
- Chow, Ven Te; D. Maidment and L. Mays** (1994). *“Hidrología Aplicada”*. Mc Graw-Hill
- Eagleson, Peter** (1970). *“Dynamic Hydrology”*. Mc Graw Hill.
- Fernández, P. and S. Fattorrelli** (2003) *“AQPF Method for Mendoza City Alert System”*. 2003 Conference of Flood Warning Systems. October 22-24, 2003. Dallas-USA.
- Fernández, Pedro, S. Rodríguez y L. Fornero.** (2002). *“Análisis del Comportamiento de Celdas Convectivas y su Aplicación al Diseño Hidrológico”*. Congreso Nacional del Agua 2002. Carlos Paz-Córdoba.
- Henz, John,** (1997). *“Operationally Predictable Up draft Characteristics of Heavy Precipitation Producing Thunderstorms”*. NHC Conference. San Diego USA
- Koussis, Antonis et al** (2003). *“Flood Forecasts for Urban Basin Integrated Hydro-Meteorological Model”*. Journal of Hydrologic Engineering January/February 2003. ASCE.
- Krauss, T.W.** (Editor). *“Mendoza Hail Suppression Project-Operations Manual”* (1999). WMI-Gobierno de Mendoza.
- Lipka, Joseph** (1962). *“Computaciones Gráficas y Mecánicas”*. CECSA Editores México.
- Lynsley, Ray; M. Kohler and J. Paulhus** (1958) *“Hydrology for Engineers”* Mc Graw-Hill
- Maddox, R.A., C.F. Chappell and L.R. Hoxit.** (1979). *“Synoptic and Meso-scale Aspects of Flash floods Events”*. Bull. Amer. Meteor. Soc. 60 115-123.

Maddox, R.A., L.R.Hoxit, C.F.Chappell and F. Caracena, (1977). "*Identifying Meteorological Potential for Flash Floods Along the East-slopes of Rocky Mountains*". Proceeding Tenth Conference on Severe Local Storms. Amer. Meteor. Soc. October 1977, Omaha, NE, 364-372.

WMO. (1986). "*Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*", WMO

Yates, David et al (2001). "*Evaluation of Flash-Flood Discharge Forecasts in Complex Terrain Using Precipitation*". Journal of Hydrologic Engineering. July/August 2001, ASCE.