

## DEPRESIÓN NOCTURNA EN SALTA

**J. P. Busano, E. Frigerio**

UNSa. - INENCO

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel.: (0387) 4255424, (0387) 4255489. [frigerio@unsa.edu.ar](mailto:frigerio@unsa.edu.ar)

**RESUMEN:** Para evaluar la capacidad de enfriamiento de la atmósfera se trabajó sobre una nueva regresión basada en la depresión de temperaturas en función de la temperatura de rocío, como ya se había realizado en Cachi. Se han utilizado datos de medidas realizadas entre 1989 y 2006. La correlación obtenida para la depresión nocturna da una forma rápida de obtener la temperatura de cielo y con ello la radiación nocturna recibida. Se da la expresión encontrada y se discute su bondad con medidas realizadas en el año 2007.

**Palabras clave:** Atmósfera, Radiación Nocturna, Emisividad, Depresión de temperaturas, Correlación

### INTRODUCCIÓN

La radiación infrarroja (IR) que emite la atmósfera hacia abajo, conocida como radiación nocturna, es importante en los procesos de enfriamiento con exposición a cielo. Se suele caracterizar por medio de una temperatura de cielo  $T_c$  o por medio de una emisividad efectiva  $\epsilon$  de la atmósfera, relacionadas por la siguiente definición:

$$\text{Radiación IR total recibida} = \sigma T_c^4 = \epsilon \sigma T_a^4, \quad (1)$$

siendo  $T_a$  la temperatura ambiente en K.

En climas cálidos y húmedos evita que los cuerpos expuestos bajen su temperatura radiativamente en forma significativa. En climas secos y poco nubosos, esta radiación es baja permitiendo a los cuerpos radiar más de lo que reciben, enfriándose. Esta circunstancia se puede usar para enfriar superficies o para tomar los recaudos ante un enfriamiento excesivo de cuerpos expuestos. (Frigerio, 2001)

Una alternativa para evaluar la capacidad de enfriamiento de la atmósfera es obtener la depresión de temperaturas en función de la época del año, o de otra variable de interés. La depresión de temperaturas se define como la diferencia entre la temperatura ambiente  $T_a$  y la temperatura de cielo  $T_c$ :

$$\Delta T = T_a - T_c \quad (2)$$

La ecuación 2 proporciona una relación que indica cuánto más frío está el cielo respecto a la temperatura ambiente. Esta diferencia de temperaturas depende, al igual que la emisividad y la temperatura de cielo, de las condiciones atmosféricas, en especial de su contenido de agua y de su temperatura. Teniendo en cuenta la definición de temperatura de cielo (ecuación 1), la ecuación 2 se puede escribir como:

$$\Delta T = T_a - \epsilon^{1/4} T_a = (1 - \epsilon^{1/4}) T_a. \quad (3)$$

lo que muestra esa dependencia a través de la emisividad  $\epsilon$  y  $T_a$ .

Se buscó relacionar esta cantidad  $\Delta T$  con la temperatura de rocío ya que ésta depende de las mismas variables. Este trabajo ya se hizo para la localidad de Cachi (Busano y Frigerio, 2006). En esta presentación se exhiben los resultados para Salta.

### DEPRESIÓN NOCTURNA

Durante el año 2006 y el 2007 se realizaron medidas de temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y de radiación infrarroja proveniente de la atmósfera en Salta. Las temperaturas fueron medidas con una precisión de  $\pm 0,2$  °C y la radiación infrarroja con una precisión de  $\pm 1$  W/m<sup>2</sup>. En la figura 1 se muestran la temperatura de cielo para noches claras, la temperatura ambiente y la diferencia entre ambas medidas durante el año 2006, en función de la temperatura de rocío. Si bien las temperaturas de cielo y ambiente aumentan con la temperatura de rocío, se observa que la depresión disminuye aunque lo hace suavemente.

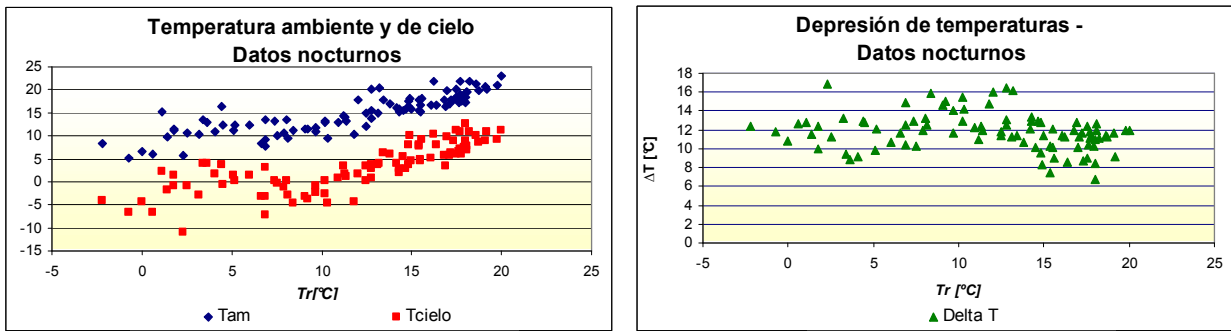


Figura 1. a) Temperaturas ambiente  $T_a$  y de cielo  $T_c$  promedios nocturnos – b) Depresión correspondiente.

Se conformó una base de datos con las medidas mencionadas y otras que se disponía de algunos meses de los años 1989, 1990, 2003, 2004 y 2005 para dar mayor solidez al conjunto de medidas a utilizar. Los datos mensuales son dispares al haber meses como febrero y noviembre de los cuáles sólo se disponen datos del año 2006 o diciembre del 89 mientras que de otros meses se disponen datos de todos los años mencionados. No se disponen de medidas de cielo claro del mes de enero de ninguno de estos años. La gráfica de todos ellos se muestra en la figura 2.

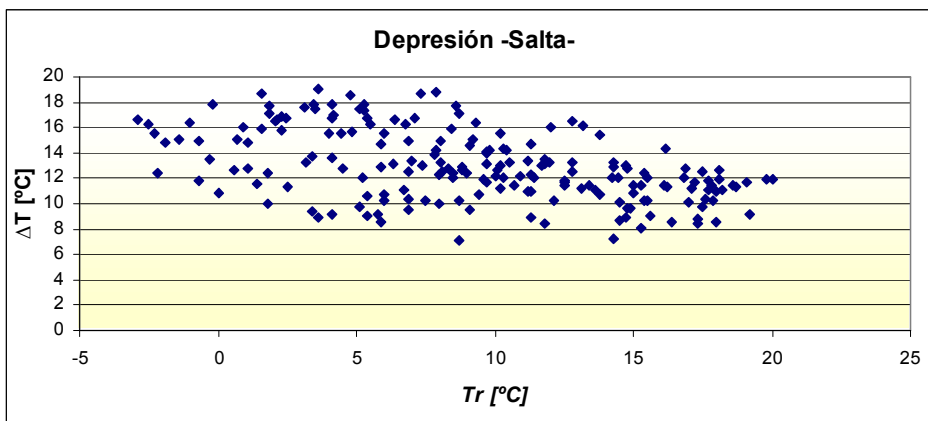


Figura 2. Promedios nocturnos de la depresión de cielo claro para Salta en función de la temperatura de rocío.

Los datos de la diferencia de temperaturas  $\Delta T$  muestran una buena dispersión, variando entre los 7 °C hasta los 20 °C, aunque se observa una tendencia a agruparse siguiendo una recta con pendiente negativa.

En la figura 3, se grafican los promedios de depresión de temperaturas de noches de cielo claro en función de los meses de todos los años mencionados anteriormente, y sus correspondientes promedios.

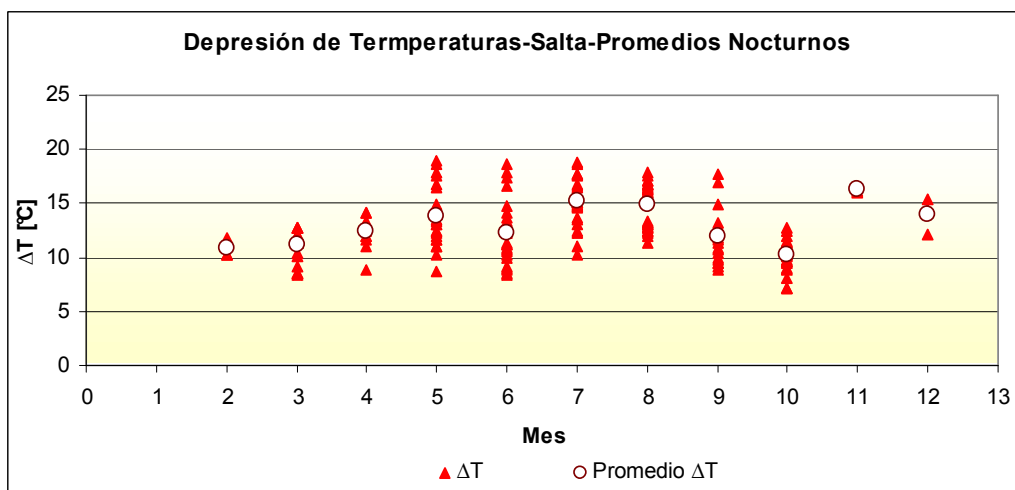


Figura 3. Promedios mensuales anuales de la depresión nocturna en Salta y promedios mensuales de todas las medidas.

La dispersión observada se debe a distintas condiciones en los diversos años tratados: años más cálidos que otros, más húmedos, mayor ocurrencia de inversiones térmicas, etc. Si bien la dispersión respecto a los promedios mensuales es considerable, estos promedios están acotados aproximadamente entre los 11 y 16 °C. Expresados en función de la

temperatura de rocío se muestra en la gráfica siguiente (fig. 4). También se dibujó la regresión respectiva, cuya expresión está dada por la ecuación 4.

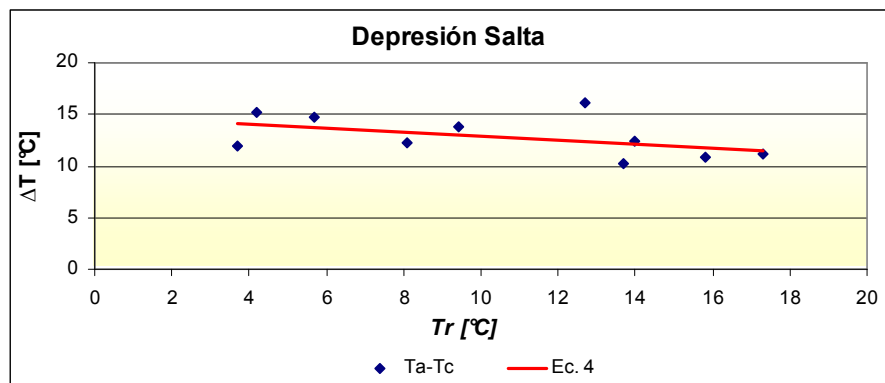


Figura 4. Promedios mensuales nocturnos de la depresión de cielo claro para Salta en función de la temperatura de rocío.

$$\Delta T = - 0,2 * Tr + 14,9 \quad (4)$$

donde Tr y ΔT se expresan en centígrados. Su coeficiente de determinación R<sup>2</sup> es bajo, 0,2, y la dispersión estándar de las medidas es de 1,9 °C.

**BONDAD DEL AJUSTE**

Se verificó el comportamiento de esta ecuación contrastando su pronóstico con las medidas de los distintos meses de los años 2006 y 2007.

En las gráficas de la figura 5 y 6 se muestran los datos de cielo claro registrados en marzo, octubre y septiembre de 2006, su respectivo promedio mensual y lo pronosticado por la ec. 4. Se aprecia que la correlación es buena en los dos primeros casos, marzo y octubre. Para septiembre es mayor que el promedio mensual y que todos los demás datos. Este mes fue un mes atípico con emisividad más altas de lo esperado. Una revisión de los datos y de las calibraciones del instrumental no invalidó las medidas. La desviación del promedio respecto a lo calculado es de 4 °C.

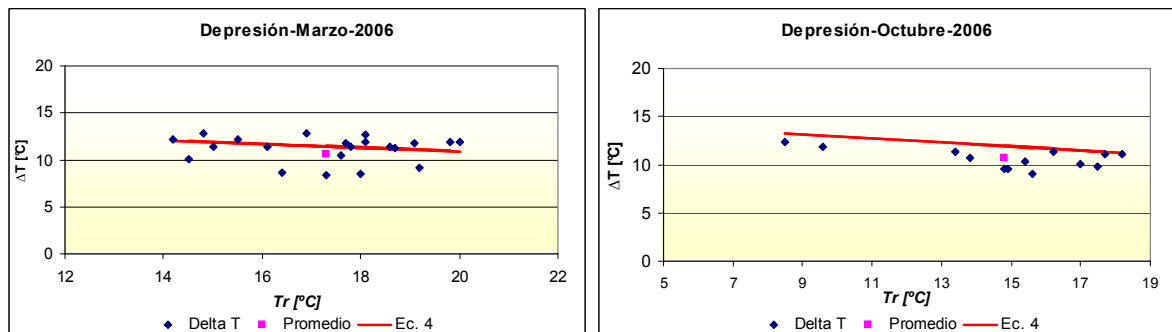


Figura 5. Depresión nocturna de cielo claro para Salta en función de la temperatura de rocío. Datos diarios, promedios mensuales y valores predichos por la ecuación 4

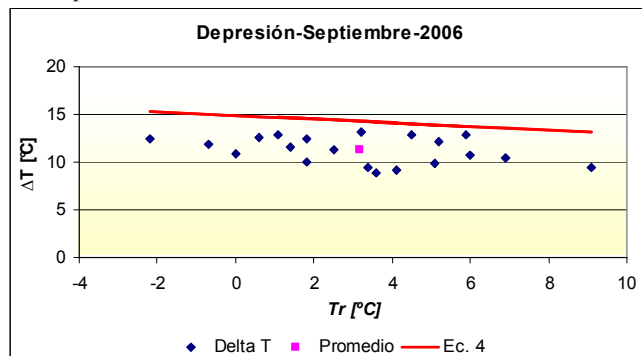


Figura 6. Depresión nocturna de cielo claro en función de la temperatura de rocío para setiembre. Datos diarios, promedio y valores predichos por la ecuación 4.

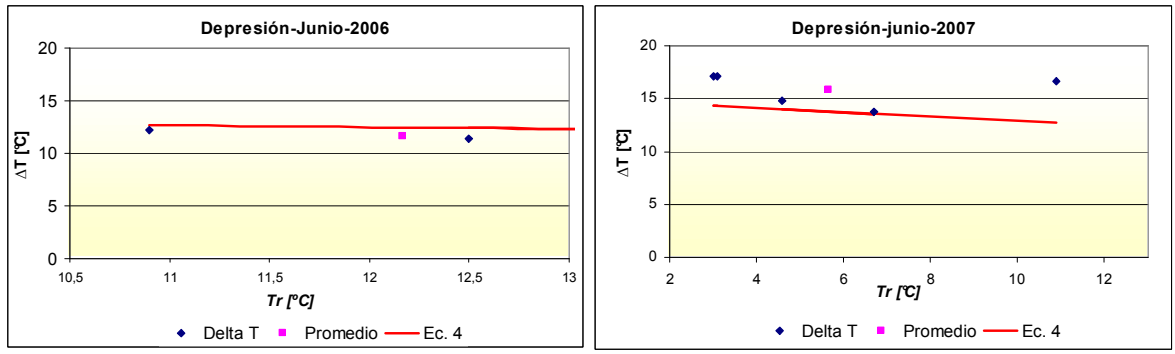


Figura 7. Comparación de la depresión nocturna de cielo claro de junio para 2006 y 2007.

En la figura 7, se muestra la depresión medida para dos años diferentes en el mismo mes, en donde se puede notar que para el año 2006 la temperatura de rocío es mas elevada que en el año 2007. Esto indica que las condiciones de temperatura y humedad del año 2006 fueron diferentes que las del 2007. La depresión es menor en el 2006, el ajuste (ecuación 4) para ambos años tiene una desviación sobre el promedio nocturno no mayor de 2 °C, lo que se considera aceptable.

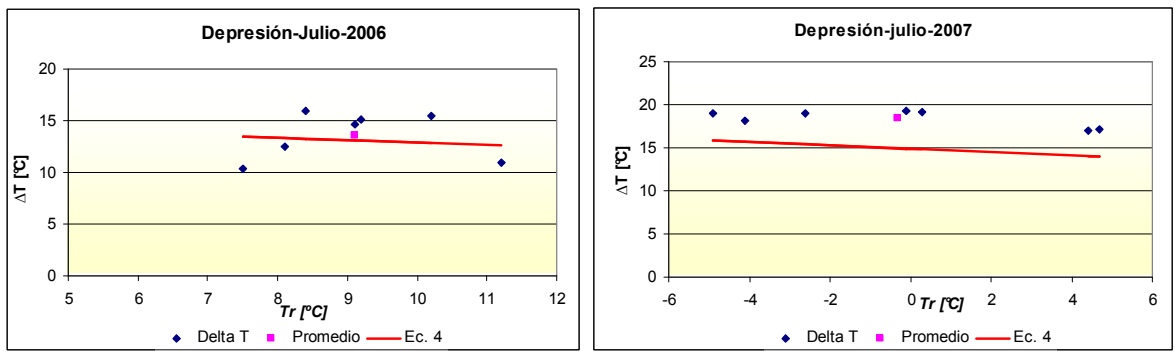


Figura 8. Comparación de la depresión nocturna de cielo claro de julio para 2006 y 2007.

Algo similar ocurre para los meses de julio de los mismos años (figura 8). En general el invierno del año 2006 fue un año más “caliente” que el 2007, y esto se refleja en los datos medidos: temperaturas de rocío menores en el presente año a igual periodo del 2006, cielos más fríos durante 2007, etc. Esto afecta a la depresión de forma tal que se observa, en general, mayores valores que los predichos con la regresión.

### COMPARACIÓN CON CACHI

A fines comparativos se presenta en la figura 9 los resultados de promedios mensuales anuales para Cachi, Valles Calchaquies, 2280 m.s.n.m., publicado en un trabajo anterior (Busano y Frigerio, 2006).

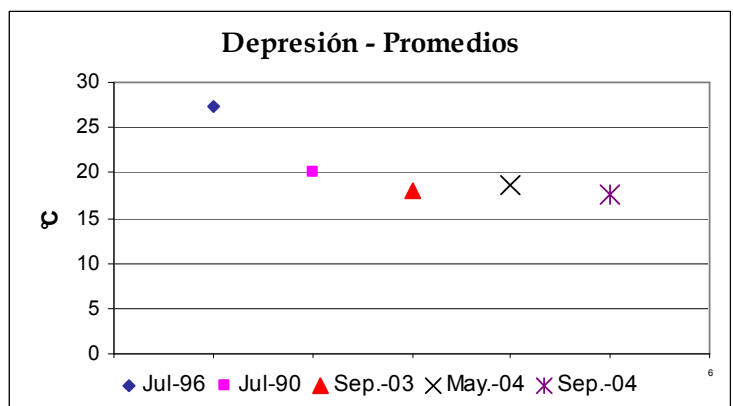


Figura 9. Promedios mensuales anuales de la depresión nocturna en Cachi.

Los valores obtenidos están cercanos a 19 °C exceptuando el mes de julio 96 que se separa considerablemente, alcanzando un valor de 27 °C. Este dato es excepcional y se corresponde con una emisividad muy baja.

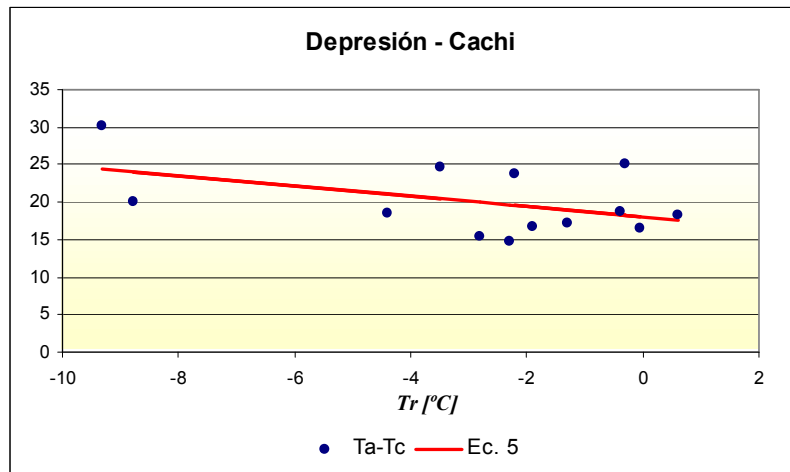


Figura 10. Promedios nocturnos de la depresión de cielo claro para Cachi en función de la temperatura de rocío.

Los promedios nocturnos de la depresión en función de la temperatura de rocío se dan en la figura 10, donde la ecuación 5 es la expresión de la depresión obtenida para Cachi:

$$\Delta T = - 0,13 * Tr + 18,8 \quad (5)$$

En ambas ecuaciones, ec. 4 y ec.5, la pendiente es negativa, siendo un poco mayor para Salta. Esto significa que, a medida que aumenta la temperatura de rocío la depresión disminuye indicando cielos más cálidos y atmósfera más húmeda. También indica que el clima en Salta es más húmedo que el de Cachi.

Por otra parte el término independiente de Salta es considerablemente menor que el de Cachi, lo que confirma un clima más húmedo y que recibe mayor radiación del cielo.

### CONCLUSIONES.

Se realizó un estudio de la capacidad de enfriamiento de la atmósfera en Salta a través de la depresión nocturna definida como la diferencia entre la temperatura ambiente y la de cielo,  $T_a - T_c$ .

La regresión obtenida, ecuación 4, concuerda razonablemente con datos medidos. Los datos del año 2007, usados como control, son mayores en todos los casos tratados a lo predicho por la correlación. Sin embargo, a los efectos de un cálculo radiativo, implica una posible diferencia de unos  $15 \text{ W/m}^2$  en la estimación frente a los habituales  $300 - 400 \text{ W/m}^2$  que se reciben del cielo.

La pendiente más pronunciada de la ec. 4 para Salta indica un clima más húmedo que Cachi y menores depresiones.

Los valores de los términos independientes se corresponden con estimaciones previas dadas en Frigerio (2001).

La regresión obtenida permite de esta manera obtener rápidamente un valor estimado de la temperatura de cielo para cálculos radiativos, etc.

### REFERENCIAS

Busano J. P., Frigerio E. (2006) Nuevos estudios sobre radiación nocturna en Cachi. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 10, pp 11.95-11.100, Buenos Aires  
 Frigerio E. (2001). *La radiación nocturna como fuente fría: su caracterización y uso*. Trabajo de Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, 2000. Defensa: 20 de marzo de 2001.

**ABSTRACT:** To evaluate the cooling capacity from the atmosphere a new regression was worked on based in the temperature depression against the dew point temperature, like it was made in Cachi. Data measures between 1989 and 2006 were used. The achieved correlation for the nocturnal depression give a quick way to obtain the sky temperature y with it, the nocturnal radiation received. The encountered expression was given and its kindness is discussed using measures made during year 2007.

**Keywords.** Atmosphere, Nocturnal Radiation, Emissivity, Temperature Depression, Correlation.