



## NUEVOS ESTUDIOS SOBRE RADIACIÓN NOCTURNA EN CACHI

**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:** Se han realizado varias campañas de medidas de radiación nocturna en Cachi, Valles Calchaquies, con el propósito de obtener un mejor conocimiento de esta cantidad en la zona. Los datos fueron utilizados para mejorar una correlación anterior de la emisividad de cielo y para proponer una nueva regresión basada en la depresión nocturna de temperaturas. Se han utilizado datos de los meses de Julio, Mayo y Septiembre en distintos años (1990, 1996, 2003, 2004). La correlación obtenida para la emisividad se aparta en un 6 % del promedio nocturno medido mientras que las derivadas para la depresión nocturna tienen una gran dispersión. Se dan las expresiones encontradas y se discute su bondad.

**Palabras clave:** Atmósfera, Radiación Nocturna, Emisividad, Depresión, Correlación.

### INTRODUCCIÓN

En los procesos de enfriamiento a cielo es importante conocer la radiación infrarroja (IR) que emite la atmósfera hacia abajo conocida como radiación nocturna. Esta radiación es muy importante en climas cálidos y húmedos, evitando que los cuerpos expuestos bajen su temperatura radiativamente. Por otra parte, en climas secos y poco nubosos, esta radiación es baja permitiendo a los cuerpos radiar más de lo que reciben, enfriándose.

Esta radiación es poco medida en el mundo. En el N.O.A. Frigerio está realizando medidas desde hace tiempo lo que ha dado origen a varias publicaciones que se resumen en un trabajo de tesis de doctorado (Frigerio, 2001).

La radiación nocturna se puede caracterizar de dos formas: por medio de una temperatura de cielo  $T_c$  o por medio de una emisividad efectiva  $\epsilon$  de atmósfera. Estas variables quedan definidas a través de las siguientes relaciones

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

siendo  $T_a$  la temperatura ambiente en K.

Para Salta se obtuvo una correlación de la emisividad para cielo claro en función de la temperatura de rocío en grados Celsius, dada por

$$\epsilon = 0,772 + 0,41*(tr/100) + 0,51*(tr/100)^2 \quad (2)$$

que ajusta dentro de un 4 % a las medias mensuales. Esto permitió realizar un estudio estadístico con datos del Servicio Meteorológico Nacional (Frigerio y Ávila Blas, 2001).

Del estudio de la emisividad en otras zonas de la región se sugirió usar la siguiente relación que tienen en cuenta la altura geográfica del lugar (Frigerio, 2000; Frigerio, 2001)

$$\epsilon = \epsilon(0,z) + 0,41*(tr/100) + 0,51*(tr/100)^2 \quad (3)$$

con  $\epsilon(0,z)$  una constante diferente para cada altura. Por ejemplo, para Cachi (valle, 2280 m s.n.m.),  $\epsilon(0,z) = 0,705$ . Sin embargo, como se menciona en esos trabajos, la cantidad de medidas era escasa por lo que se debía seguir midiendo y ver como se modifica esta última ecuación (ec. 3) en cada caso.

En este trabajo se hace un nuevo estudio de la radiación nocturna en Cachi agregando nuevos datos obtenidos.

### EMISIVIDAD EN CACHI

Se disponían de datos de temperatura y radiación IR de los años 1990 y 1996 con los cuáles se halló la ec. 3. A éstos se agregaron medidas de los años 2003, 2004 y 2006. En las medidas están representados los meses de mayo, julio y septiembre.

La emisividad es una función principalmente de la temperatura y del contenido de agua de la atmósfera, al igual que la temperatura de rocío. Por ello es que se buscó relacionar la emisividad con la temperatura de rocío medida en superficie.

La radiación IR se midió con un pirgeómetro PIR de Eppley y las temperaturas de bulbo húmedo y seco con un psicrómetro. Ambos instrumentos fueron previamente calibrados. Los datos fueron recogidos con sistemas de adquisición de datos Omega.

Las medidas de temperatura de bulbo húmedo de 2006 se perdieron, con lo cual no se dispone de la temperatura de rocío correspondiente. Por este motivo no se trató este año.

El promedio nocturno de todas las medidas de emisividad utilizadas se muestra en la figura 1.

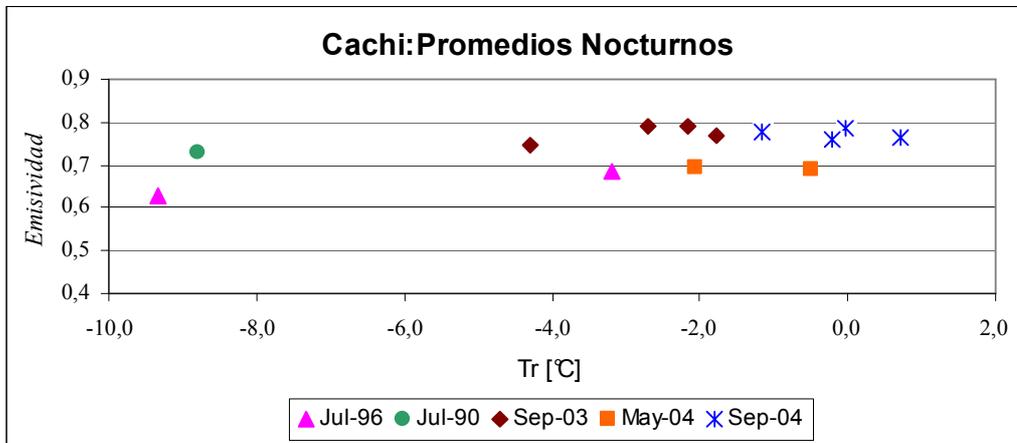


Figura 1: Medidas de la emisividad nocturna en Cachi, promedios mensuales nocturnos.

En lugar de buscar los tres coeficientes de una regresión cuadrática sobre los valores representados en la figura, se buscó ajustar sólo el término independiente con el fin de encontrar en el futuro una expresión de este término con la altura. El resultado de este trabajo se da en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = 0,750 + 0,41*(tr/100) + 0,51*(tr/100)^2 \quad (4)$$

El resultado de este ajuste para la emisividad, promedios nocturnos, se muestra en la gráfica 2 donde se graficó además el obtenido por Frigerio en trabajos anteriores (ec. 3).

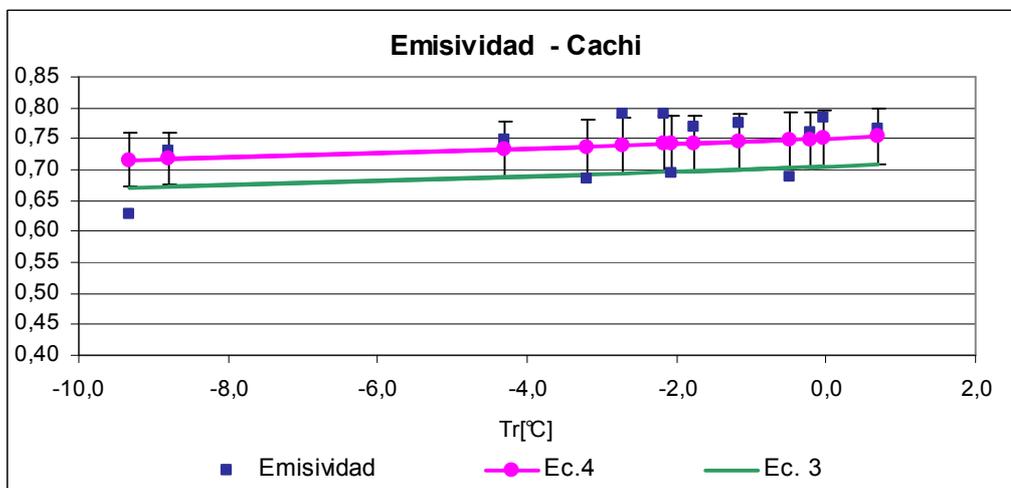


Figura 2: Emisividad en Cachi. Promedios nocturnos diarios y resultados de los ajustes (ec. 3 y ec. 4).

Se puede observar en la gráfica anterior la mejoría de las predicciones lograda con la nueva correlación ec. 4 respecto a la ec. 3. El apartamiento medio es de un 6 %, un valor bueno dada la dispersión y la escasa cantidad de datos disponibles. Sólo el dato de la izquierda correspondiente a una noche de julio de 1996 se aparta mucho del ajuste. La ec. 3 sólo ajusta muy bien en el mes de mayo de 2004 y julio de 1996 y se separa mucho de otras medidas.

En las graficas de la figura 3, se muestra la emisividad nocturna instantánea de algunos meses estudiados, su respectivo promedio y lo pronosticado por la ec. 4. Podemos notar que el ajuste encontrado funciona muy bien dentro de su error para noches de mayo de 2004 y septiembre 2004, pero no así en julio 96 y esto se ve reflejado en las figuras previas.

Las temperaturas muy bajas de uno de los días del mes de julio de 1996 pudieron afectar las medidas de temperatura de bulbo húmedo. Esto podría ser la causa del apartamiento entre medida y el ajuste. Este problema no se nota en las medidas de julio de 1990 ni en la otra noche de cielo claro medida del mismo mes que fue más cálida.

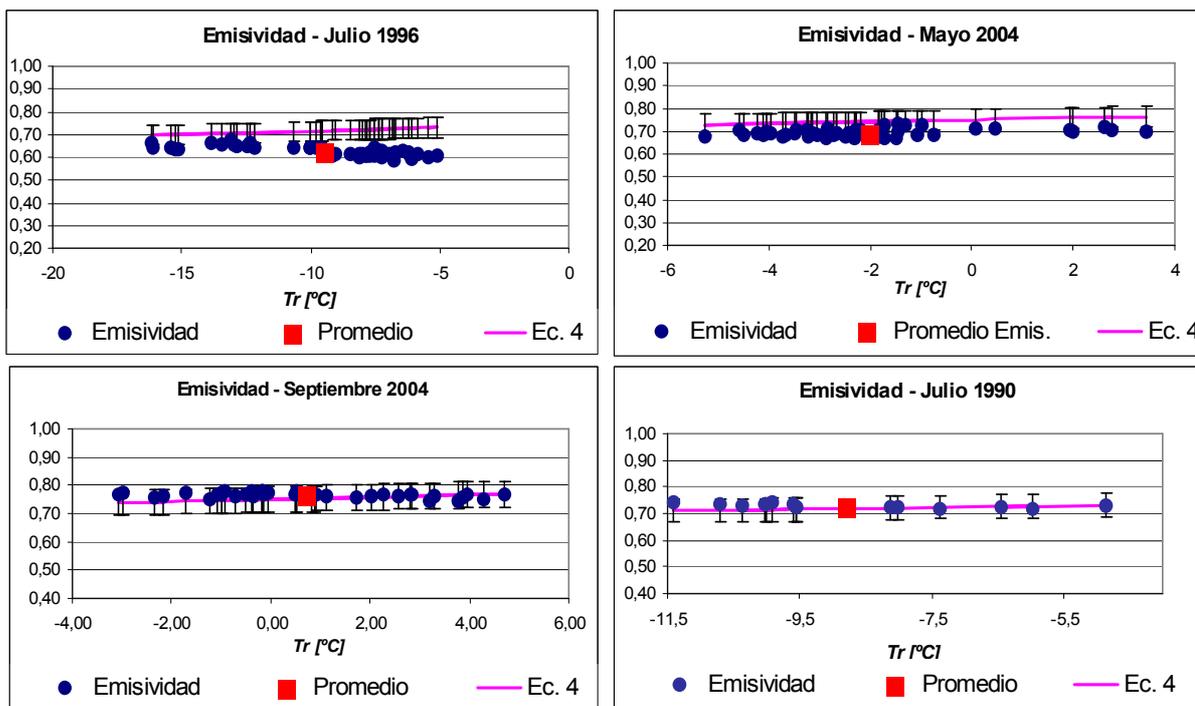


Figura 3. Medidas instantáneas de emisividad nocturna en distintos meses.

Se puede notar del análisis de las distintas figuras y de los archivos de datos que la pendiente de los puntos es negativa, salvo para el mes de mayo. Una pendiente negativa se corresponde con inversiones de temperaturas en la atmósfera. Lo observado significaría que en los meses de julio y septiembre son comunes las inversiones y no así en mayo. Su efecto sobre la emisividad en Cachi no fue estudiado todavía.

### DEPRESIÓN NOCTURNA

Otra forma de caracterizar la radiación nocturna es por medio de la temperatura de cielo  $T_c$ , dada por la ec. 1.

En lugar de buscar una correspondencia de ésta con variables meteorológicas, se buscó una relación para la depresión nocturna definida por la diferencia entre temperatura ambiente  $T_a$  y temperatura de cielo:

$$\Delta T = T_a - T_c \quad (5)$$

Se buscó una relación de esta cantidad con la temperatura de rocío  $Tr$  al igual que se hizo con la emisividad. En la gráfica de la figura 4 se muestran las temperaturas ambiente y de cielo, datos nocturnos promedio para Cachi correspondientes a todos los años mencionados, en función de  $Tr$ .

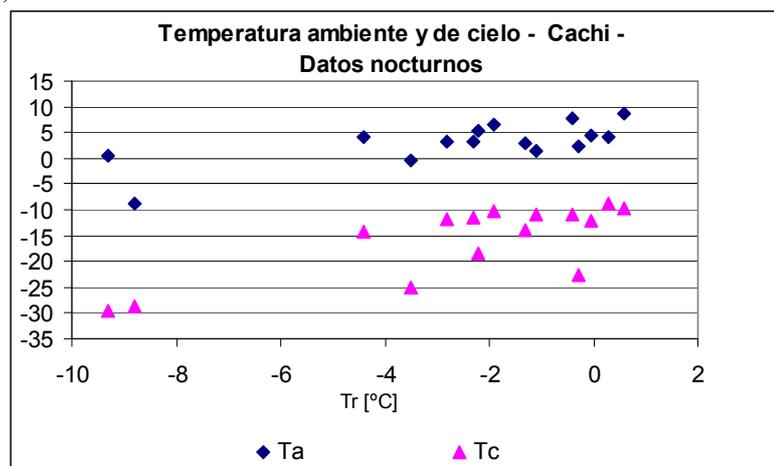


Figura 4. Temperaturas promedio nocturno ambiente  $T_a$  y de cielo  $T_c$  – Cachi.

En la siguiente gráfica (fig. 5), se muestra la depresión correspondiente utilizando datos nocturnos, con su respectivo ajuste, en función de la temperatura de rocío.

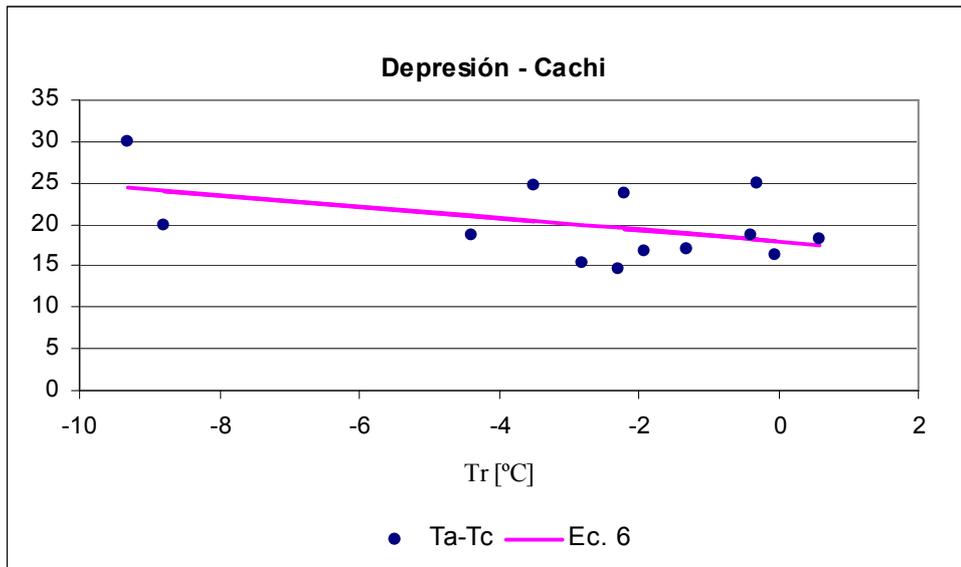


Figura 5. Promedios nocturnos de la depresión de cielo claro para Cachi en función de la temperatura de rocío.

La expresión que mejor ajustó los datos ( $r^2 = 0,22$ ) es:

$$\Delta T = - 0,69 * Tr + 18,0 \tag{6}$$

donde Tr es la temperatura de rocío del lugar, en centígrados. Dado que la dispersión es muy grande, la desviación promedio de la ec. 6 es del orden del 20 %. Sólo un mayor número de medidas podría mejorar este resultado, lo que justificaría seguir con campañas de mediciones.

En las gráficas de la figura 6, se muestra la depresión nocturna instantánea de algunos meses estudiados, su respectivo promedio y lo pronosticado por la ec. 6. Podemos apreciar que dicha ecuación tiene una pendiente diferente a la que presentan los valores instantáneos. Se nota además que la correlación es buena para septiembre, no así para julio. Con mayo ocurre igual que con julio.

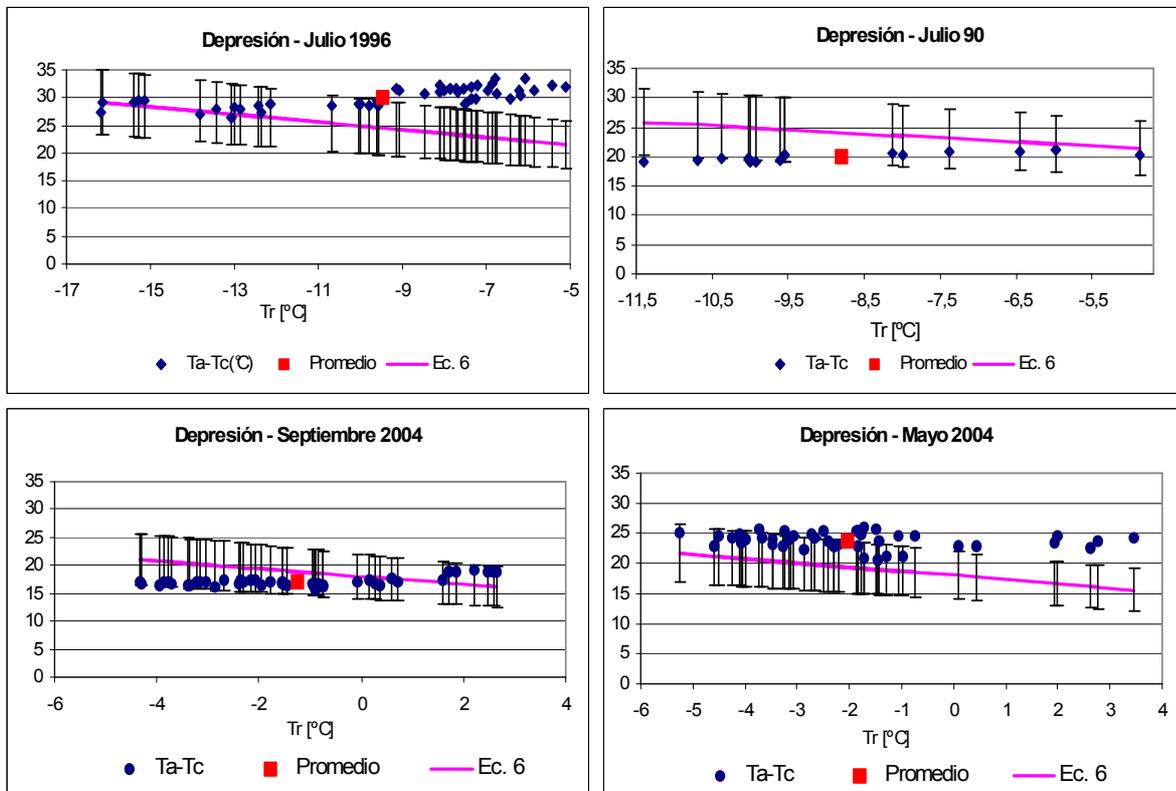


Figura 6. Promedios nocturnos de cielo claro para Cachi de la depresión en función de la temperatura de rocío.

En la figura 7, se muestra un gráfico de valores promedio mensuales anuales, donde se puede observar la poca variabilidad de la depresión con respecto a los meses y años medidos. Los valores están cercanos a 19 °C exceptuando el mes de julio 96 que se separa considerablemente, alcanzando un valor de 27 °C. El valor de 19 °C se corresponde con lo predicho por Frigerio (2001), donde se estimaba una depresión nocturna del orden de los 20 °C para Cachi. El valor de julio/96 se debe al día muy frío y con muy poca humedad en el ambiente por lo que fue un día excepcional. Esto se corresponde con una emisividad baja, tal cuál fue mostrado antes.

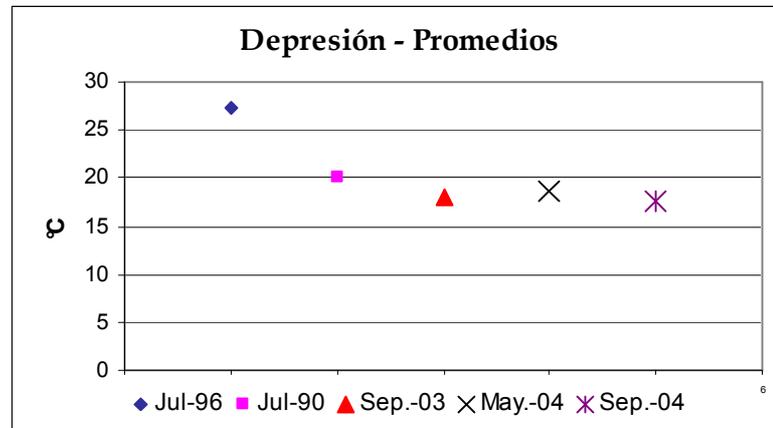


Figura 7. Promedios mensuales anuales de la depresión nocturna en Cachi.

Esta singularidad corresponde al mismo día en el cuál la emisividad se aparta considerablemente de la correlación ec. 4. Este comportamiento diferente a la tendencia de las otras medidas sugieren que hubo problemas en la toma de datos. Por esta razón, se buscó una nueva regresión que no toma en cuenta este día. El resultado se muestra en la ecuación 7:

$$\Delta T = -0,13 * Tr + 18,8 \quad (7)$$

Lo más notable de esta nueva fórmula es la gran disminución de la pendiente. Su término independiente cercano a los 19 °C, refleja lo observado en la figura 7.

Las bondades de este nuevo ajuste se muestra en las gráficas de la figura 8 donde se dibujó también la ec. 6.

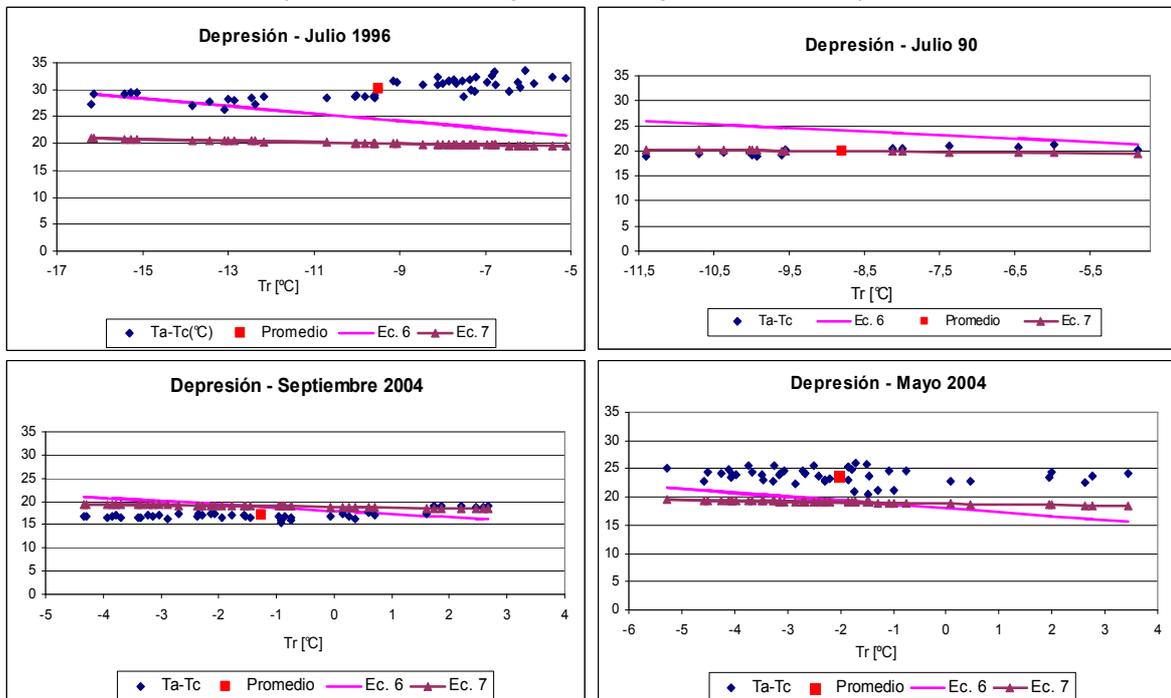


Figura 8. Depresión nocturna de cielo claro para Cachi en función de la temperatura de rocío. Datos instantáneos, promedios y valores predichos por las ecuaciones 6 y 7.

Se puede notar que la pendiente ahora sigue mucho mejor a los datos instantáneos. Como es de esperar, el ajuste para el día de julio de 1996 es peor que el dado por la ec.6. En los demás días el ajuste mejoró, siendo especialmente notable el de julio de 1990. La dispersión promedio en este caso fue de 14 %, lo que es una mejora significativa.

## CONCLUSIONES

Se han incorporado al estudio de la radiación nocturna nuevos datos que permitieron hacer un nuevo análisis desde dos puntos de vista: a) la emisividad efectiva de la atmósfera para cielos claros y b) la depresión nocturna definida como  $T_a - T_c$ .

Para la emisividad se encontró una correlación con un error del 6 %, que ajusta mejor a los valores medidos que la correlación que se disponía previamente. La peor estimación se da para una noche de julio de 1996, cuya emisividad fue baja separándose en un 14%.

Se considera un buen ajuste dada la dispersión y la escasa cantidad de datos de cielo claro disponibles. Esto indica también la necesidad de realizar más campañas de medidas.

En los meses de julio y septiembre parecieran ser comunes las inversiones y no así en mayo. Su efecto sobre la emisividad en Cachi no fue estudiado todavía.

La expresión del ajuste de la depresión nocturna tiene una gran dispersión debido a la gran variabilidad de este parámetro. La primera relación encontrada, ecuación 6, tiene una dispersión promedio de un 20 %.

La segunda, ecuación 7, significó una gran mejora y fue debido a separar el día de julio/96 con condiciones excepcionales. De todas formas, la dispersión promedio de un 14 % significa que se debe usar con cuidado.

La pendiente menos pronunciada de la ec. 7 acompaña mejor a los datos instantáneos.

El valor del término independiente de 18,8 °C es coherente con lo observado y próximo a lo predicho en trabajos previos.

## REFERENCIAS

Frigerio E.(2000). *Emisividad en el N.O.A. Dependencia con la altura*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 4, N° 2, pp 11.07-11.12, Resistencia.

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.

Frigerio E., Avila Blas O. (2001). *Emisividad Nocturna: Modelo De Predicción Estadística Con Varianza Estocástica*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 5, N° 2, pp 11.13-11.17, Mendoza.

Frigerio E.(2001). *Estudio Del Efecto De Las Inversiones De Temperatura Sobre La Emisividad En Salta*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 5, N° 2, pp 11.01-11.06, Mendoza, 2001.

Frigerio E. (2001). *Inferencia de la estructura atmosférica de otras localidades a partir de las medidas de globosondeo y emisividad realizadas en salta*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 5, N° 2, pp 11.07-11.12, Mendoza, 2001.

Frigerio E.(2001). Radiación nocturna y enfriamiento. Primer Encuentro Iberoamericano De Refrigeración y Aire Acondicionado Solar y Primera Reunión Regional De Coordinación De La Red Iberoamericana De Refrigeración y Aire Acondicionado Solar, Sevilla. <http://www.riraas.net/> ISBN 970-93330

**ABSTRACT:** Several campaigns to measure nocturnal radiation in Cachi, Valles Calchaquíes, were made with the proposal of getting a better knowledge of this quantity in the zone. The data were used to enhance a prior correlation of sky emissivity and to propose a new regression based on the night temperature depression. Data of months of July, May and September in different years (1990, 1996, 2003, 2004) were employed. The obtained correlation for the emissivity is 6% apart of the nocturnal average measured whereas the derived for the nocturnal depression have a great dispersion. The expressions founded are given and their kindnesses are discussed.

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