



## EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DE ROCÍO PARA EL CÁLCULO DE LA EMISIVIDAD MEDIA

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:** Con el objetivo de disponer de una primera información sobre emisividad de cielo claro para cálculos, balances radiativos, etc. para Salta y zona del valle de Lerma, se buscó una correlación para el promedio mensual de la temperatura de rocío. En base a medidas realizadas entre 2003 y 2007 se obtuvieron dos expresiones con las cuales se llega a resultados similares, ninguno de los cuales se aparta más allá de un 5 % respecto de las medidas. Se presentan las correlaciones obtenidas, las emisividades predichas a través de ellas y la comparación de éstas con trabajos anteriores.

**Palabras clave:** Atmósfera, Radiación Nocturna, Emisividad, Temperatura de rocío, 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". 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.

La radiación nocturna se suele caracterizar de dos formas: por medio de una temperatura de cielo  $T_c$  o por medio de una emisividad efectiva  $\epsilon$  de la 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.

Esta radiación es poco medida en el mundo. Se pueden mencionar los trabajos de Martin y Berdahl (1984), Wright (1999), Tang et al. (2003), Pérez García (2004). En el N.O.A. se está realizando medidas desde hace tiempo lo que ha dado origen a varias publicaciones. Muchas se resumen en un trabajo de tesis de doctorado [Frigerio, 2001]. Busano y Frigerio (2006) realizaron un estudio que mejoró la predicción en la localidad de Cachi, Valles Calchaquies, Salta.

Para Salta se publicó en la tesis 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 históricos del Servicio Meteorológico Nacional con buena precisión estadística (Frigerio y Ávila Blas, 2001).

Las medidas realizadas a posteriori confirmaron la bondad de esta expresión, como se muestra en las gráficas de la figura 1 a) donde se representan datos medidos en el año 2006, tomando el promedio para noches de cielo claro de dos épocas diferentes.

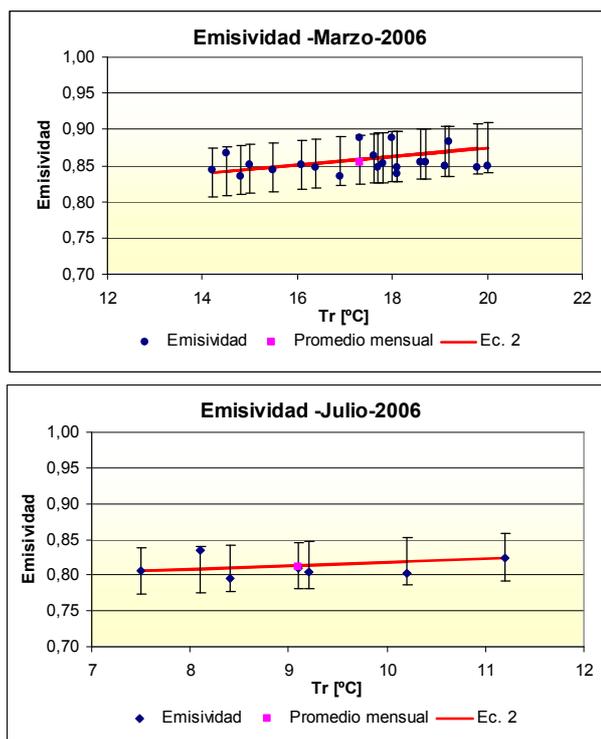


Figura 1 a): Promedios nocturnos medidos en Salta en el año 2006, correlación ec. 2 y su error del 4%

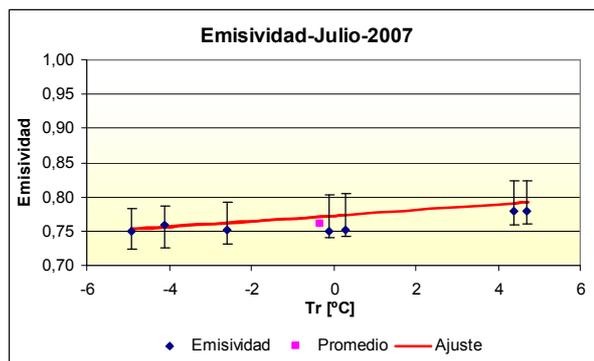


Figura 1 b): Promedios nocturnos medidos en Salta en el año 2007, correlación Ec. 2 y su error del 4%

En la figura 1 b) se puede apreciar que en julio de 2007 hubo temperaturas de rocío mucho más bajas que en el mismo mes de 2006. Sin embargo, la correlación dio buenos pronósticos en ambos casos.

Dada la temperatura de rocío se puede tener una buena estimación de la radiación nocturna a través de la ec. 2. Sin embargo, no siempre se dispone de esa información. Se pensó entonces en la posibilidad de ajustar una curva a las medidas de temperatura de rocío  $t_r$  medias mensuales de manera que se pudiera introducir ésta directamente en los cálculos. Si se dispusiere de una expresión confiable de la temperatura de rocío, a partir de la ecuación (2) se puede reconstruir la emisividad promedio mensual para Salta, lo que daría una estimación válida para realizar cálculos primarios donde se necesite este dato.

### MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE ROCIO.

Con el propósito mencionado arriba se buscó una correlación del promedio mensual de la temperatura de rocío en Salta usando mediciones realizadas.

Durante el año 2006 y el 2007 se realizaron medidas de temperatura de rocío y de radiación infrarroja proveniente de la atmósfera. Con estas medidas y otras que se disponía de algunos meses de los años 2003, 2004 y 2005 se conformó una base de datos con los cuáles se trabajó. Los datos mensuales son dispares al haber meses como febrero y septiembre de los cuales se disponen datos sólo del año 2006 mientras que de otros meses se disponen datos de todos los años mencionados. No se disponen de medidas de cielo claro de los meses de enero y diciembre en estos años.

La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura de rocío utilizando los promedios nocturnos de días claros para los meses tratados.

De los promedios mostrados se puede notar el valor bajo que tiene el mes de septiembre en relación al mes anterior y al posterior. También pareciera un poco bajo el valor del mes de febrero. Se revisaron los datos y no se encontraron inconsistencias. Los aparatos de medición habían sido calibrados por lo que las medidas son confiables. Observando datos históricos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se da la ocurrencia de estos valores por lo cual se trabajó con ellos. No se dispone de datos del SMN correspondientes al mismo lapso medido.

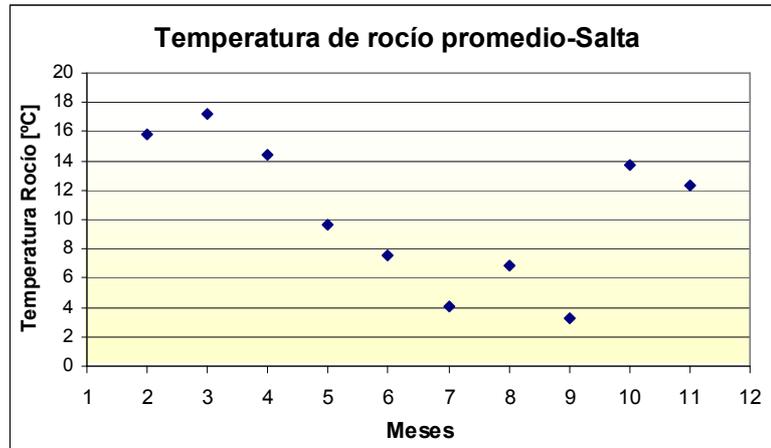


Figura 2: Promedio mensual de la temperatura de rocío para Salta, periodo 2003-2007

Se ensayaron distintas correlaciones, en donde las que mejor ajustan con los datos medidos se detallan a continuación. La primera de ellas se muestra en la ecuación 3.

$$Tr = 12 * [ 1 + 0,45 * \cos((\pi * x / 6) + 0,4 * \text{SENO}((\pi * x / 6))] \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

donde x corresponde al número de mes. Esta expresión tiene en cuenta la asimetría de la distribución de los puntos antes y después de julio. Además predice apropiadamente los valores de enero y diciembre (figura 3).

La segunda es la ecuación de orden 4 obtenida por la función de ajuste generada por el programa de cálculo en función de los datos medidos en el periodo febrero – noviembre (ecuación 4).

$$Tr = -0,0311 * x^4 + 0,892 * x^3 - 8,4216 * x^2 + 28,659 * x - 14,532 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

Esta ecuación no ajusta adecuadamente en los extremos de forma tal que un pronóstico para enero, por ejemplo, da un valor muy bajo desviándose mucho de lo esperado. Para resolver este problema se buscó en las series históricas provistas por el SMN, un orden de valores de temperatura de rocío para enero y diciembre. En base a estos datos se introdujeron valores estimados para enero y diciembre y con ellos se recalculó el ajuste obteniéndose la ecuación 5:

$$Tr = -0,0131 * x^4 + 0,3901 * x^3 - 3,5327 * x^2 + 9,3504 * x + 10,767 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

mejorando con ello notablemente las predicciones. Esta expresión y los valores estimados usados se muestran también en la gráfica de la figura 3. Se observa que ambas expresiones prácticamente coinciden en el intervalo marzo – diciembre.

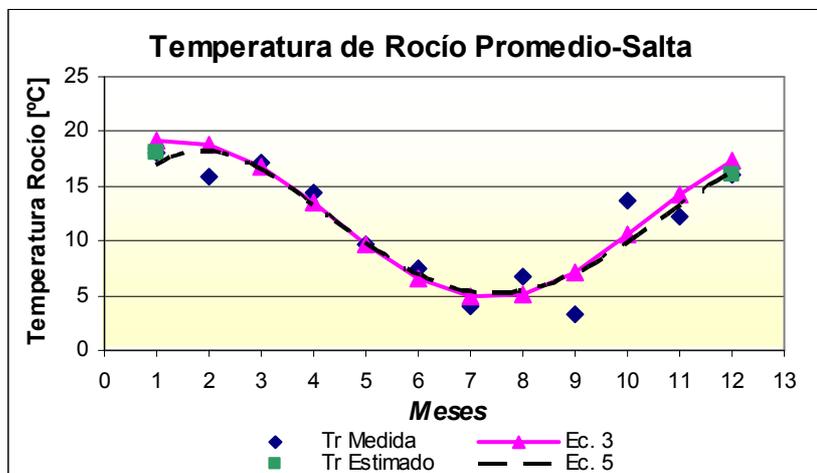


Figura 3: Temperatura de rocío medida con sus ajustes obtenidos Ec. 3 y Ec. 5.

La tendencia mostrada de la ecuación 5 en el mes de enero no es muy buena mientras que el de la ecuación 3 parece razonable. Sin embargo los valores predichos por una y otra expresión no son muy diferentes por lo que no se puede elegir claramente una de ellas.

### CÁLCULO DE EMISIVIDAD

Sobre la base de las ecuaciones 3 y 5 se calcularon las emisividades correspondientes usando la ecuación 2. Se compararon estos resultados con las medidas obtenidas durante el año 2006 y con las que se dan en el trabajo de tesis doctoral (Frigerio, 2001).

La grafica de la figura 4 muestra el promedio mensual de la temperatura de rocío para el año 2006 y su comparación con las correlaciones propuestas.

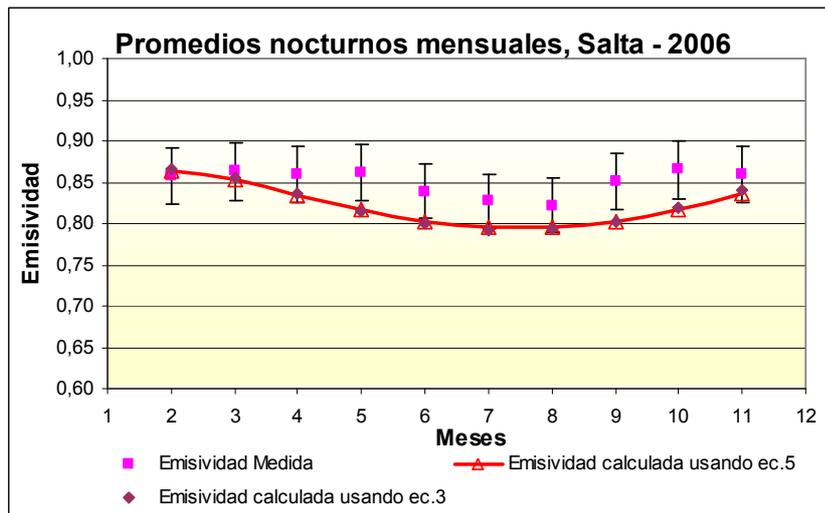


Figura 4: Emisividad medida periodo 2006 con sus ajustes obtenidos.

Se puede observar una buena concordancia entre ambos pronósticos y lo medido. La máxima separación de la emisividad medida con los pronósticos es del 5%. Si se tiene en cuenta que el error máximo en la medida es del 4%, está clara la significancia de lo obtenido con estas expresiones.

De la misma forma se comparó el pronóstico de ambas expresiones con los datos de diferentes años del periodo 1965-84 extraídos de Frigerio (2001)

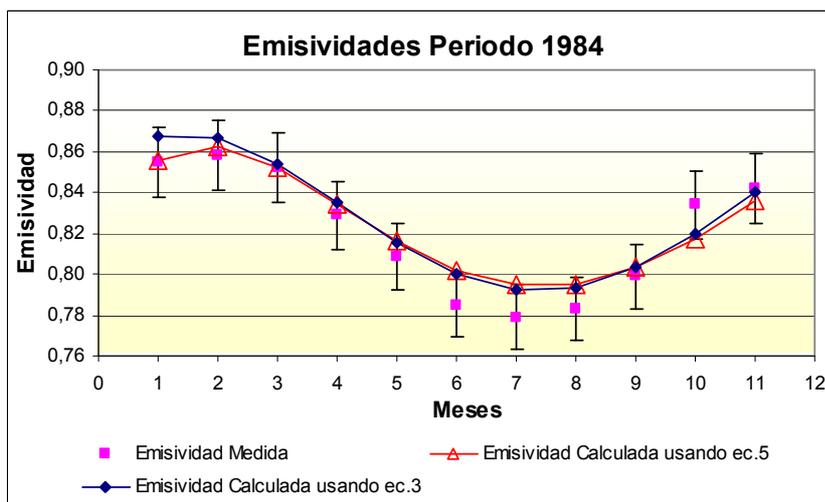


Figura 5: Comparación de la emisividad promedio mensual del año 1984 con los ajustes obtenidos.

En la figura 5 se muestra el comportamiento para el año 1984. Las diferencias aquí entre lo pronosticado y los datos caen dentro del 2%, indicado con barras de error sobre los datos. En otros años cotejados del periodo el comportamiento fue similar, a veces mejor y en otros dió un mayor apartamiento, pero no mayor del 5%.

## COMPARACIÓN DE LAS DISTINTAS PREDICIONES

Con los datos mencionados del SMN se realizaron promedios mensuales para cada año. Los datos corresponden a las 12 hs GMT, es decir, datos de superficie instantáneos correspondientes a un poco antes de las 8 horas solar local. En la figura 6 se comparan las dos expresiones encontradas con los valores precedentes.

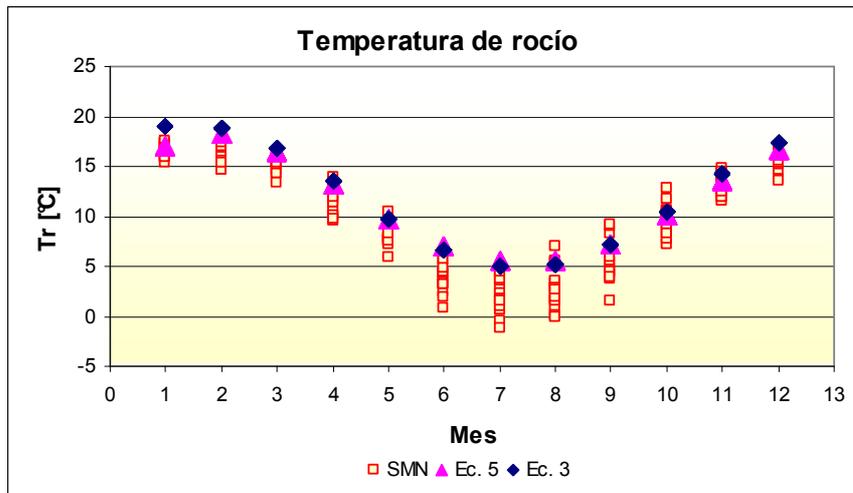


Figura 6. Promedios mensuales anuales del periodo 1965-84 y ecuaciones 3 y 5.

Se puede observar que los valores derivados de las ecuaciones 3 y 5 tienen un comportamiento similar al obtenido con las medidas. Existe una tendencia a ser mayores que éstas. Esto se percibe mejor en la siguiente figura donde se hizo un promedio mensual para todos los años.

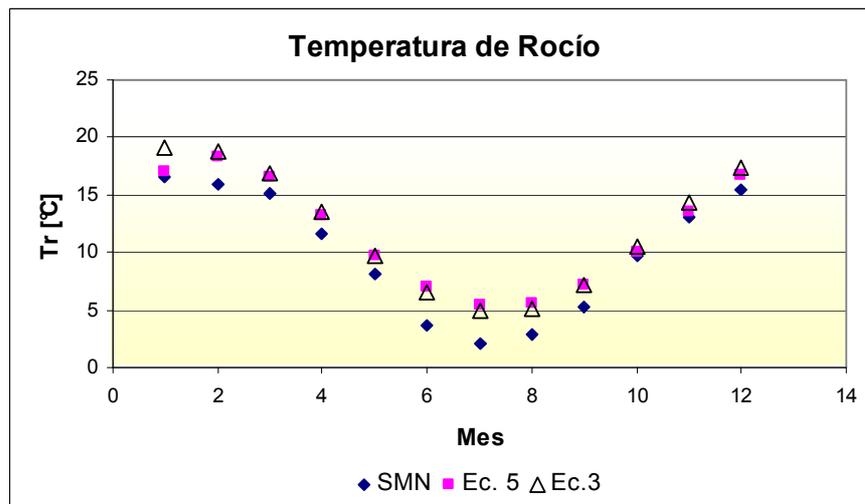


Figura 7. Promedios mensuales del periodo 1965-84 y ecuaciones 3 y 5.

La causa de que sean mayores los valores obtenidos mediante el cálculo de las ecuaciones 3 y 5 radica en que éstas fueron obtenidas sobre promedios nocturnos de las medidas, donde la temperatura de rocío va decreciendo desde el anochecer hasta el amanecer, mientras que los valores del SMN son instantáneos a primeras horas de la mañana. Se puede apreciar nuevamente que el comportamiento de la ecuación 3, aunque desplazado, acompaña mejor al de los datos del SMN.

En la tabla 1 se exhiben las temperaturas de rocío y las emisividades promedio mensual estimadas para Salta. Se incluyó a fines comparativos los resultados obtenidos en el trabajo estadístico realizado sobre la base de datos del SMN desde 1965 a 1984 presentadas en Frigerio y Ávila Blas (2001).

Las emisividades estimadas con las ecuaciones 3 y 5 son superiores a las obtenidas en el trabajo estadístico mencionado. Esto es debido a la misma razón esgrimida antes sobre la temperatura de rocío medida a las 12 GMT, por lo que el cálculo estadístico da una cota inferior a la emisividad esperada para ese mes.

<b>Tabla 1: Emisividades y temperaturas de rocío estimadas para Salta</b>					
	Temperatura de rocío [°C] Ec.3	Temperatura de rocío [°C] Ec.5	Emisividad Ec. 3 y Ec. 2	Emisividad Ec. 5 y Ec. 2	Emisividad Frigerio, Avila Blas
Enero	19,1	17,0	0,868	0,855	0,852
Febrero	18,9	18,2	0,866	0,863	0,848
Marzo	16,8	16,5	0,854	0,853	0,843
Abril	13,5	13,3	0,835	0,834	0,828
Mayo	9,7	9,8	0,816	0,816	0,809
Junio	6,6	7,0	0,800	0,802	0,787
Julio	4,9	5,5	0,792	0,795	0,781
Agosto	5,1	5,6	0,793	0,795	0,783
Septiembre	7,2	7,2	0,803	0,803	0,795
Octubre	10,5	10,1	0,820	0,818	0,817
Noviembre	14,3	13,6	0,840	0,836	0,835
Diciembre	17,4	16,7	0,858	0,854	0,847

Tabla 1: Diversas estimaciones de emisividades y temperaturas de rocío.

## CONCLUSIONES.

La expresión para la emisividad en función de la temperatura de rocío dió buenos resultados a través del tiempo. Esto permitió buscar una expresión para la temperatura de rocío que fuera representativa de una época del año ya que no siempre se dispone de la medida de esta variable. Se obtuvieron dos expresiones que son una primera aproximación ya que no tienen valor estadístico porque las series de datos contemplan un periodo corto de tiempo.

Las dos expresiones obtenidas para la temperatura de rocío dan valores razonables en los periodos analizados, si bien la expresión ecuación 3 tiene la forma de lo que se obtiene con la serie histórica medida por el SMN. Ninguna de ellas conduce a mejores resultados. Los resultados de las emisividades calculadas usando ambas ecuaciones tienen una diferencia de sólo el 5% con las medidas.

A falta de otros datos se realizó la comparación con el periodo 1965-1984 donde sólo se tienen datos de las 12 hs GMT. Los resultados muestran que tanto la temperatura de rocío como la emisividad en este periodo son inferiores a los promedios medidos, constituyendo una cota inferior de lo esperable.

## REFERENCIAS

- 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.
- Frigerio E., Avila Blas O. (2001). Emisividad Nocturna: Modelo De Predicción Estadística Con Varianza Estocástica. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 5, N° 2, pp 11.13-11.17.
- Martin M., Berdahl P. (1984) Emissivity Of Clear Skies. Solar Energy, Vol. 32, N° 5, pp 663-664.
- Pérez-García M. (2004). Simplified modelling of the nocturnal clear sky atmospheric radiation for environmental applications. Ecological Modelling 180, pp395 – 406. ELSEVIER.
- Tang R., Etzion Y. Meir I. A. (2004) Estimates of clear night sky emissivity in the Negev Highlands, Israel. Energy Conversion and Management 45, pp 1831 – 1843. ELSEVIER.
- Wright, J. (1999). Emisividad infrarroja de la atmósfera medida en Heredia, Costa Rica. Top. Meteor. Oceanog., 6(1):44 – 51.

**ABSTRACT:** With the objective of having a first sight about the clear sky emissivity to use in radiative balances, etc. for Salta and the Lerma valley, a correlation for the monthly averaged dew point temperature was searched. Based on measures done between 2003 and 2007 two expressions were obtained with similar results, none of them separate more than 5 % of the measures. The obtained correlations, the predicted emissivities calculated with them and a comparison with a previous work were given.

**Keywords:** Atmosphere, Nocturnal Radiation, Emissivity, Dew Point, Correlation.