

## NUEVAS MEDIDAS DE RADIACIÓN ATMOSFÉRICA EN SALTA

E. Frigerio.  
Departamento de Física  
Universidad Nacional de Salta  
Bolivia 5150 – 4400 - Salta  
Tel.: (0387) 4255424, (0387) 4255489. [frigerio@unsa.edu.ar](mailto:frigerio@unsa.edu.ar)

*Recibido: 31/07/12; Aceptado: 01/10/12*

**RESUMEN:** Durante 2011 se midió la radiación infrarroja proveniente de la atmósfera para mejorar la base de datos que se posee y de adquirir confianza en el nuevo equipamiento. Además de la radiación se midieron datos meteorológicos para correlacionarlos con ella. A pesar de que se han tenido problemas con las medidas meteorológicas, se ha logrado una buena base de datos de radiación para este año. Se presentan aquí los resultados de las medidas obtenidas en forma de radiación IR y emisividad aparente. También se da lo que es esperable que radie a cielo una superficie de alta emisividad.

**Palabras clave:** Radiación, atmósfera, radiación nocturna, emisividad.

### INTRODUCCIÓN

#### Medición de radiación.

Las medidas en superficie de radiación infrarroja (IR) son en general escasas mundialmente. Su conocimiento es de utilidad en la meteorología y otros campos que dependen de ella como la agricultura. Su noción puede permitir la calibración de medidas satelitales. En la Universidad de Salta se ha medido esta variable desde hace tiempo (Frigerio, 2001; Frigerio y Ávila Blas 2002; Frigerio, 2004; Busano y Frigerio, 2006 y 2007; Frigerio y Busano, 2007). Los datos permitieron conseguir una correlación para cielo claro en función de la temperatura de rocío que se ajusta a las mediciones en un 4 %. Esta es sólo válida para la ciudad de Salta y el valle de Lerma. Dadas las condiciones del relieve en la zona se buscó tener buenas medidas en distintas alturas geográficas. Éstas se debieron suspender porque los medidores que se disponía dejaron de funcionar hacia finales de 2007.

Las medidas de radiación IR se hacen con pirgeómetros cuyos rangos espectrales se encuentran entre los 4 y 40  $\mu\text{m}$ , aproximadamente. Se adquirieron dos nuevos pirgeómetros para la medición global de radiación infrarroja. Estos son modelos CGR3 de Kipp y Zonen, con sensibilidades de 6,63 y 10,29  $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ , respectivamente. La medida no es directa sino que un sensor provee un voltaje proporcional al intercambio de radiación entre el instrumento y el cielo en su campo de visión y, por otro lado, mide la temperatura del instrumento junto al detector con lo que se puede calcular la radiación IR medida. La forma de medir los hace aptos para medidas de campo ya que no necesitan de ninguna fuente externa.

Durante 2011 se realizaron desde marzo medidas de radiación atmosférica IR, también conocida como radiación nocturna, aunque recién en mayo se pudo medir sistemáticamente hasta diciembre. Se tomaron medidas simultáneamente de temperaturas ambiente de bulbo seco y bulbo húmedo.

Se tuvo dificultades con las medidas de temperatura de bulbo húmedo durante todo el período lo que se traduce en valores de temperatura de rocío no confiables. Las humedades relativas fueron permanentemente más altas que las medidas por el Servicio Meteorológico, corroborando las dificultades antedichas. En vista de este problema, las emisividades calculadas en función de la temperatura de rocío que se muestran en las gráficas son sólo indicativas. Como consecuencia, no se pudo ajustar los datos de radiación con ningún dato meteorológico medido. En noviembre se adquirió un termohigrómetro que parecía funcionar bien por lo que se esperaba mejorar la calidad de las medidas y poder realizar las correlaciones esperadas.

Una segunda consecuencia de las dificultades encontradas fue que no se hicieron campañas de medidas en otros lugares a diferentes alturas ya que no se podían asegurar las temperaturas que se tomaran.

### MEDICIONES.

#### Radiación nocturna.

Las medidas de radiación atmosférica y la consiguiente emisividad no dependen de los datos del psicrómetro, por lo que se dispone de una buena base de datos para este año. Con estos datos se calculó la radiación que podría emitir una superficie con emisividad de 0,95 hacia el cielo, lo que se denominó radiación útil,  $R_{\text{útil}}$ . Se presentan a continuación algunos datos

mensuales de radiación en forma gráfica. No se han separado los datos de cielo claro, exhibiéndose todos los datos disponibles de mayo, julio, septiembre y noviembre.

Se disponen de medidas de radiación solar desde fines de junio cuando se pudo conectar un solarímetro. Éstos también se grafican en las figuras siguientes.

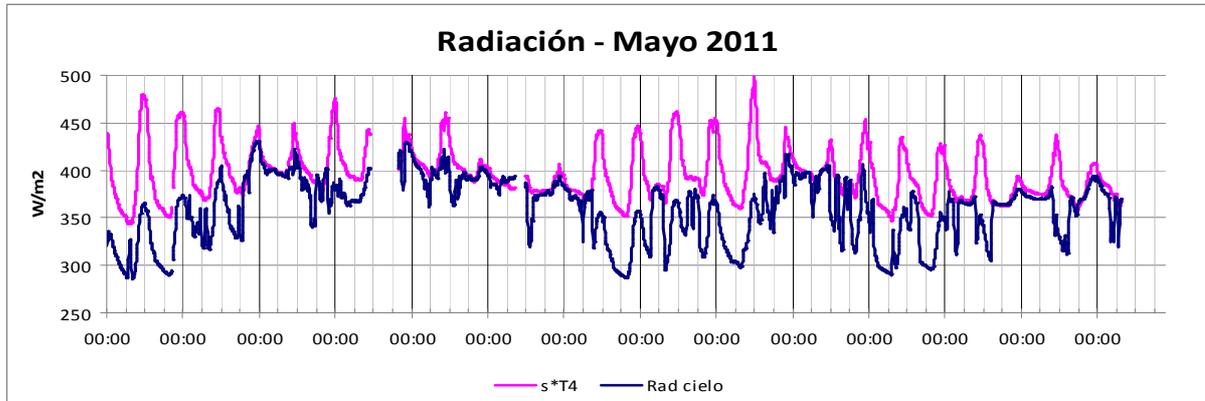


Figura 1. Datos diurnos y nocturnos de mayo.

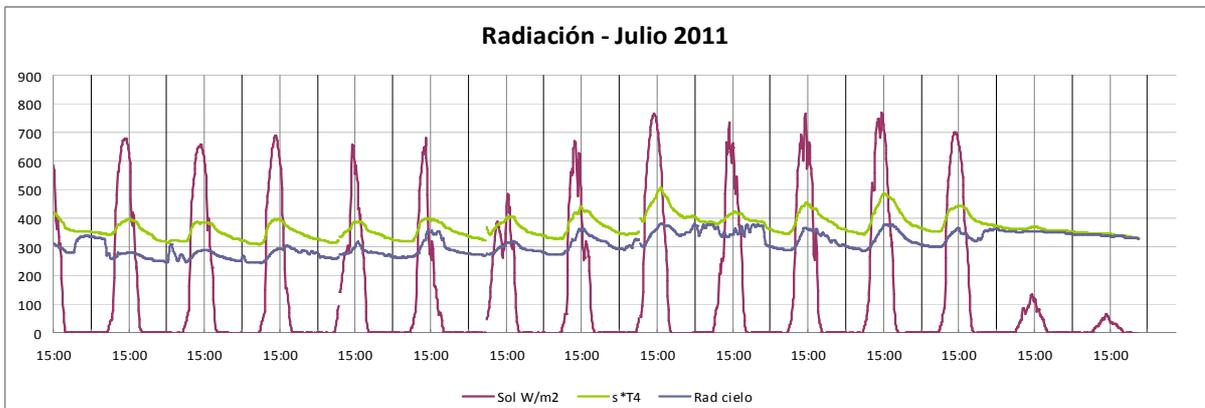


Figura 2. Datos diurnos y nocturnos de julio. Se observa que los dos últimos días tuvieron cielo cubierto y como consecuencia la radiación de cielo es prácticamente constante.

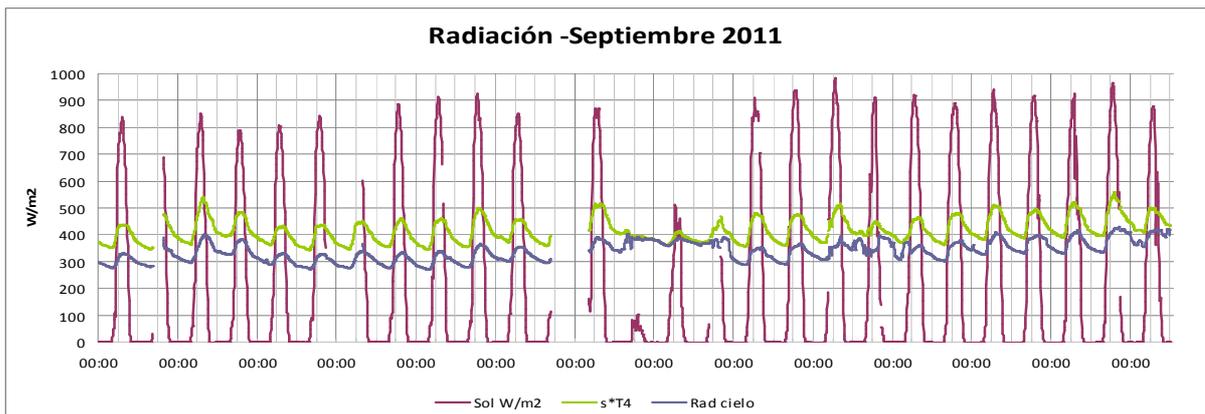


Figura 3. Datos diurnos y nocturnos de septiembre.

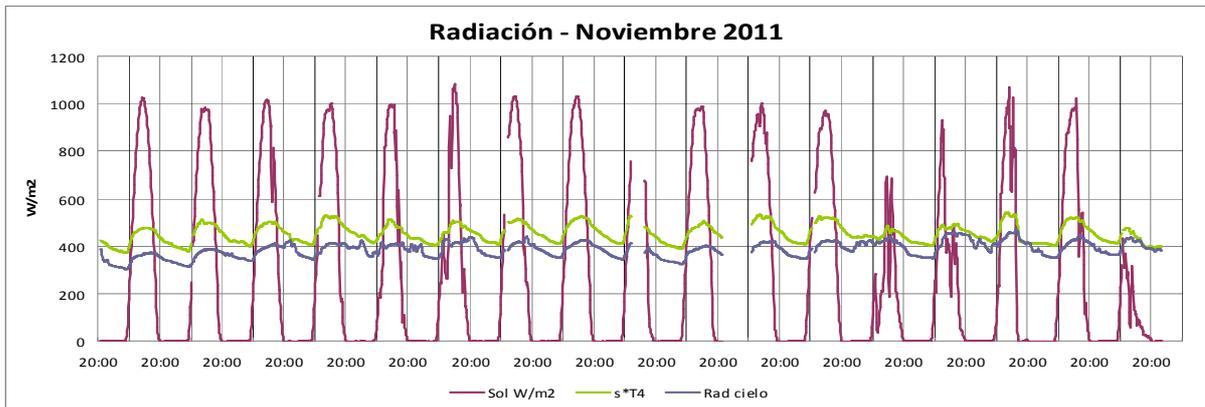


Figura 4. Datos diurnos y nocturnos de noviembre. Se observa que fue un mes bastante soleado indicando que no había comenzado la época de lluvias.

Se separaron los datos nocturnos para mirar su comportamiento. Para ello se eligió el periodo entre las 19 hs y las 7 hs. Esto incluye horas con luminosidad solar, lo que se aprecia en los archivos donde se midió radiación solar en que aparece la cola de radiación solar del atardecer. Tampoco aquí se discriminó datos de cielo claro de los que no lo son.

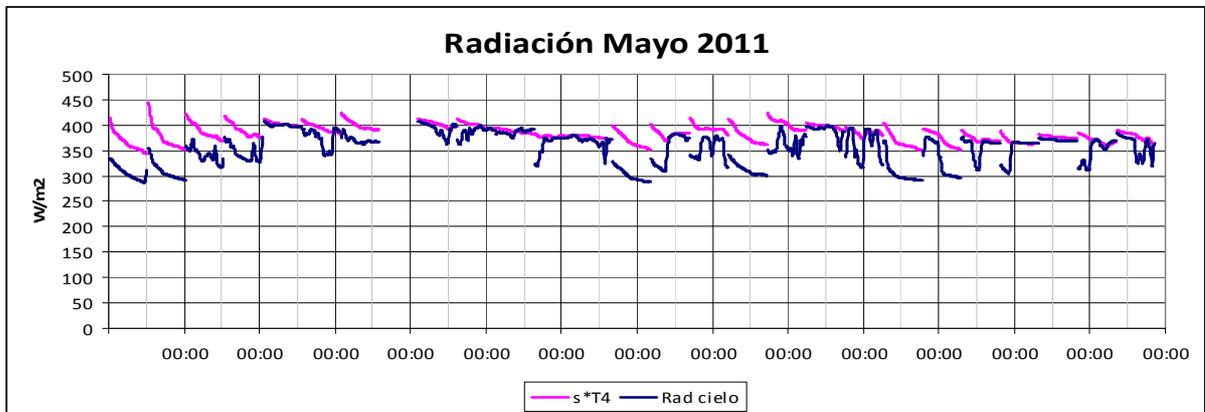


Figura 5. Sólo datos nocturnos de mayo.

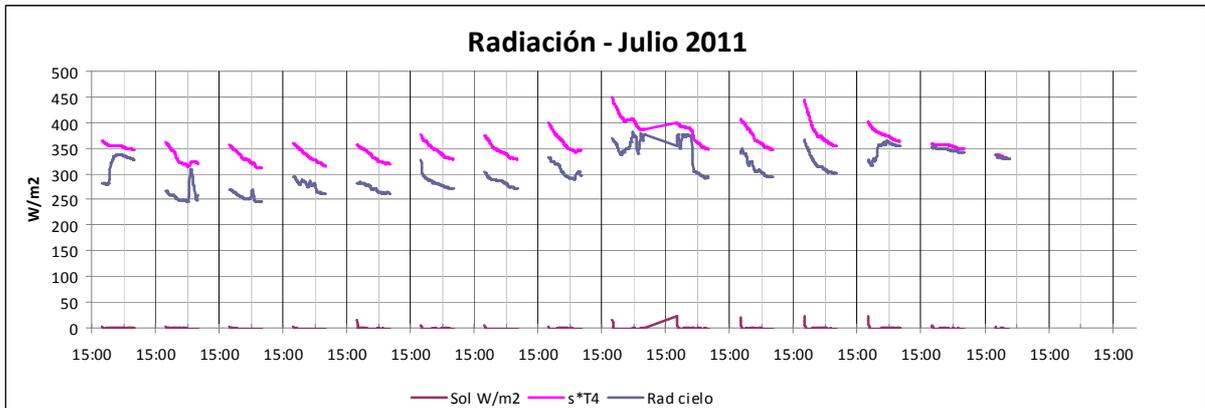


Figura 6. Sólo datos nocturnos de julio.

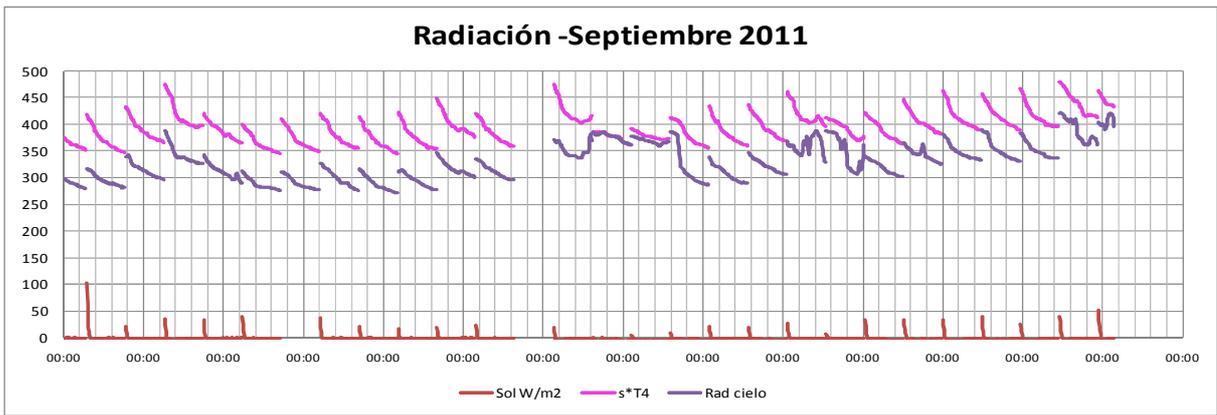


Figura 7. Sólo datos nocturnos de septiembre.

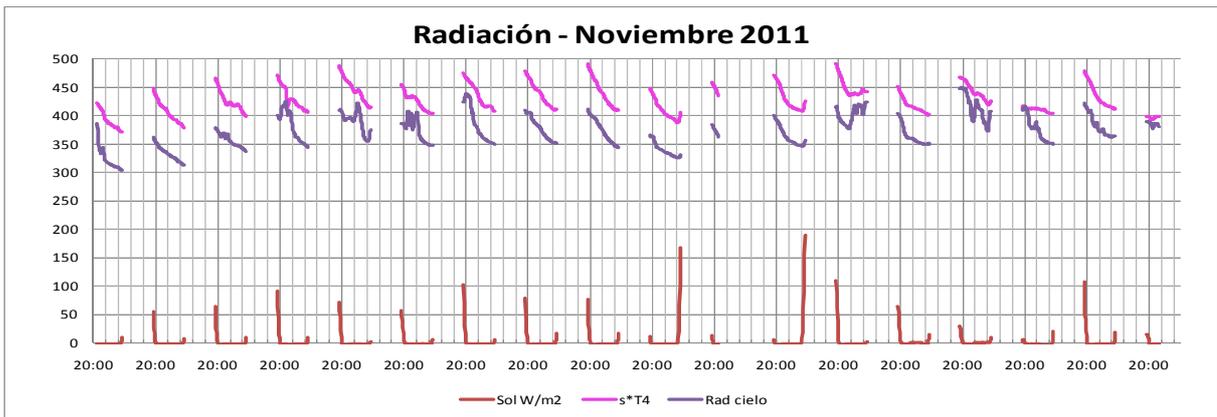


Figura 8. Sólo datos nocturnos de noviembre.

En las gráficas se aprecia que la radiación proveniente del cielo oscila entre los 300 y los 450 W/m<sup>2</sup>, dependiendo de las condiciones meteorológicas y de la hora.

Se separaron los datos de cielo claro. Los correspondientes a noviembre se presentan en la figura 9, donde son visibles las diferencias con la figura 8.

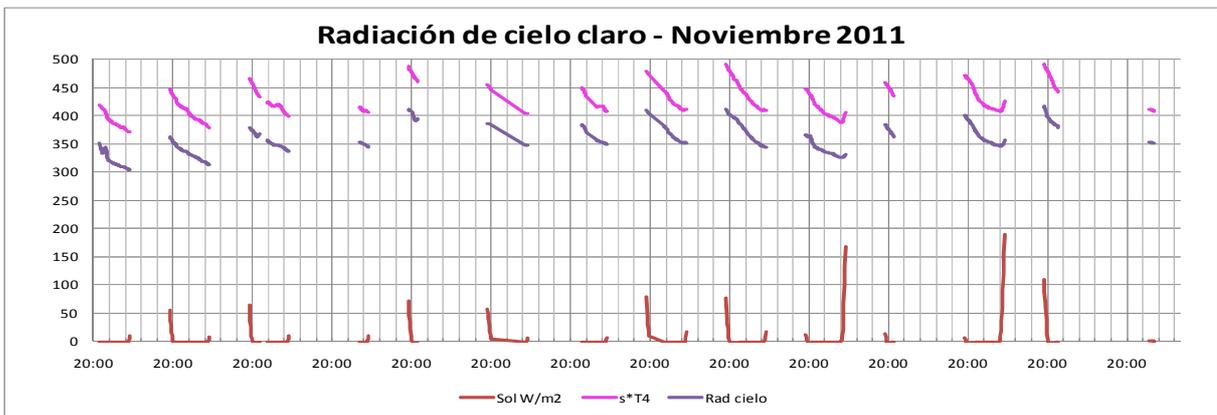


Figura 9. Datos nocturnos de cielo claro para noviembre.

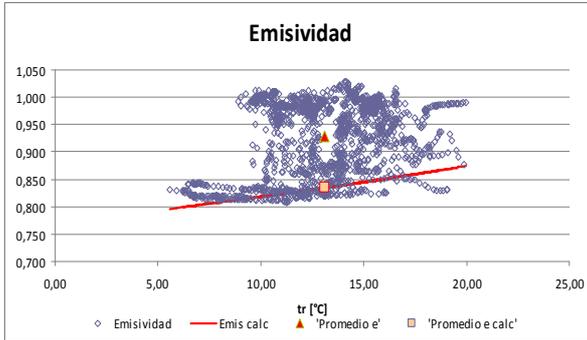
Se puede apreciar como la radiación al comienzo del período nocturno es mayor porque la atmósfera está caliente y luego se va enfriando hacia la mañana, sin oscilaciones.

#### Emisividad. Datos nocturnos.

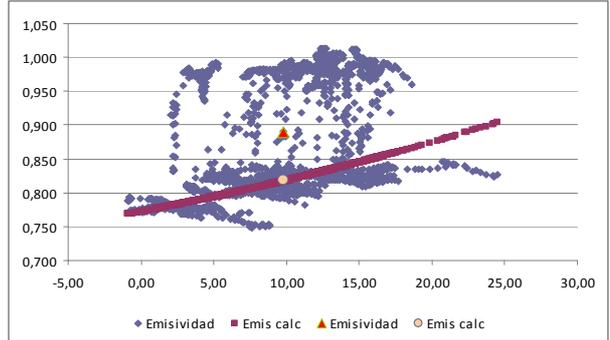
En la figura 10 se presentan las emisividades calculadas con los datos medidos por el pirgeómetro y el promedio mensual de la medida. A pesar de lo que se observó, de que la temperatura de rocío no era un dato confiable, se dibujó una curva de emisividad de cielo claro calculada con una correlación que se posee en función de la temperatura de rocío y el promedio mensual de ésta. La justificación está dada porque las temperaturas de rocío parecen no diferir de las reales en no más de 2 o 3 grados. Por otra parte la gráfica así presentada da una idea visual de la distribución de la emisividad.

Los grupos de puntos que se acercan a 1, indican gran nubosidad e inclusive lluvia. Cuando se los grafica en forma horaria permiten visualizar los momentos de distintos tipos de nubosidad. De día se tiene una confirmación cuando se agregan los datos de radiación solar.

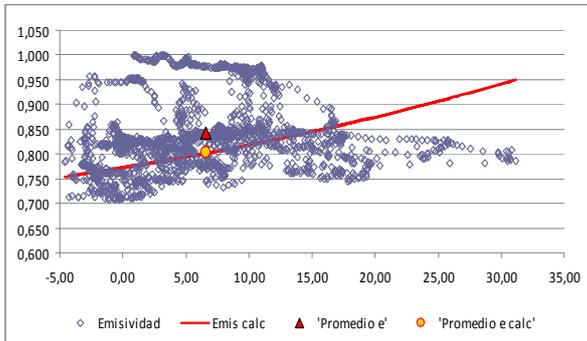
**Mayo**



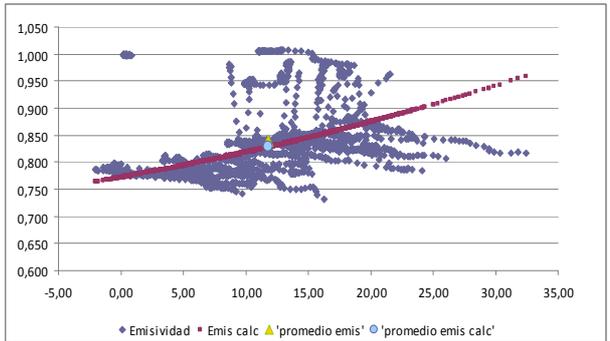
**Junio**



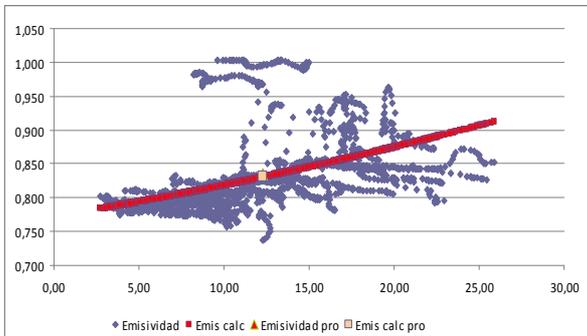
**Julio**



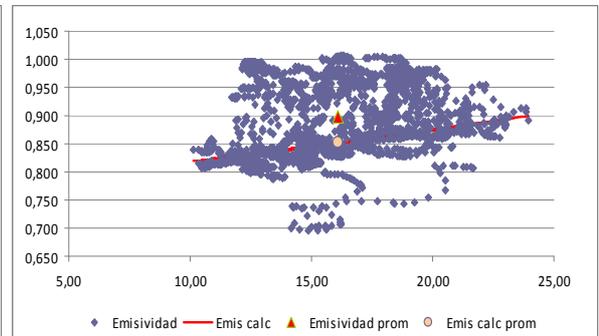
**Agosto**



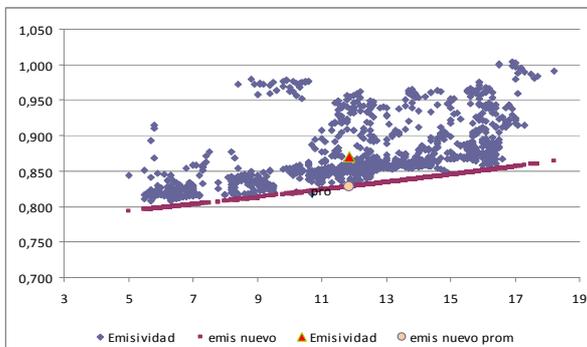
**Septiembre**



**Octubre**



**Noviembre**



**Diciembre**

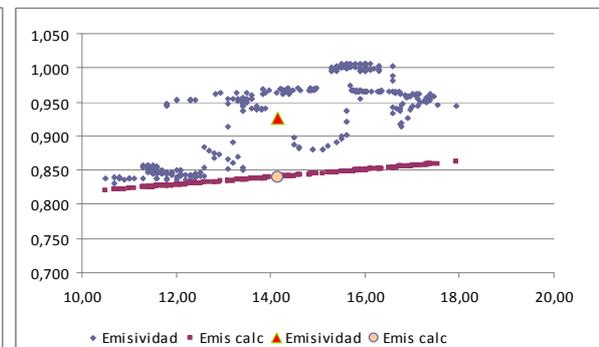


Figura 10. Datos nocturnos mensuales de emisividad graficados en función de la temperatura de rocío.

De diciembre se poseen medidas de sólo cinco días al comienzo de mes. Este año la temporada de lluvias comenzó en este mes. En los meses de mayo, octubre y se insinúa en diciembre se tiene alta frecuencia de nubosidad. De junio a septiembre poseen baja ocurrencia de cielos nublados.

Cuando se grafican sólo los datos de cielo claro, figura 11, se puede apreciar una buena correspondencia entre los cálculos obtenidos de la medida y los obtenidos con el cálculo de la correlación usando datos del psicrómetro y del termohigrómetro. La diferencia entre los promedios es de menos del 2 %.

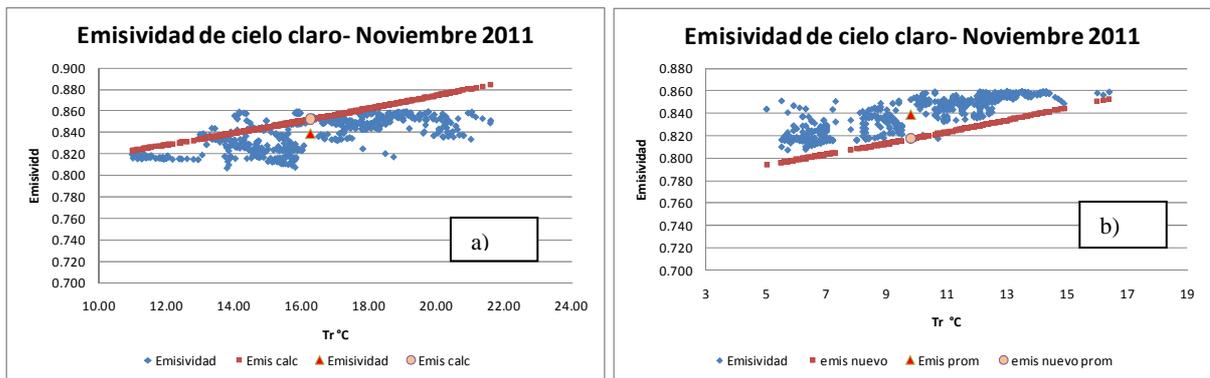


Figura 11. a) *Emisividad de cielo claro para noviembre de 2011, correlación (emis calc) y sus respectivos promedios.* b) *Emisividad de cielo claro para noviembre de 2011, correlación calculada con datos del termohigrómetro (emis nuevo) y sus respectivos promedios.*

En estas medidas se puede apreciar la gran diferencia entre los rangos de temperatura de rocío medidas por ambos aparatos. Este archivo fue el que mostró mucha diferencia. Medidas posteriores no se apartan tanto. Por otra parte, las medidas por el psicrómetro ajustan un poco mejor.

El resumen de los promedios mensuales de la radiación de cielo, la emisividad aparente de cielo, la temperatura equivalente de cielo y lo que podría emitir una superficie de emisividad alta, R útil, se da en la tabla siguiente (tabla 1)

		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio anual
Radiación cielo W/m <sup>2</sup>	Prom	353.69	330.37	306.17	320.47	328.57	366.43	371.54	384.85	345.26
	Desv. Est.	33.04	41.53	36.18	36.473	34.44	31.09	29.70	26.06	
	Máx	407.81	402.88	381.25	395.74	423.11	431.58	449.58	429.68	
	Mín	286.35	244.31	245.20	247.96	271.88	294.49	304.16	333.16	
Emisividad	Prom	0.929	0.890	0.860	0.839	0.835	0.90	0.87	0.927	0.881
	Desv. Est.	0.07	0.09	0.07	0.067	0.06	0.07	0.04	0.06	
	Máx	1.028	1.013	0.998	1.007	1.003	1.01	1.00	1.006	
	Mín	0.808	0.749	0.735	0.732	0.737	0.70	0.81	0.832	
T cielo °C	Prom	7.65	2.71	-2.42	0.70	2.48	10.19	11.20	13.75	5.78
	Máx	18.07	17.18	13.21	15.89	20.76	22.22	25.26	21.90	
	Mín	-6.57	-16.95	-16.71	-15.99	-10.00	-4.70	-2.52	3.71	
R útil W/m <sup>2</sup>	Prom		38.0	50.0	65.0	64.9	41.5	59.7	55.4	53.5
	Máx		94.0	91.8	132.5	115.1	139.6	92.8	118.9	

Suponiendo 0.95

Tabla 1. *Resumen de los promedios mensuales de las medidas realizadas, su desviación estándar, máximos y mínimos del mes y promedio anual.*

Los mismos datos se presentan en forma gráfica en las figuras siguientes

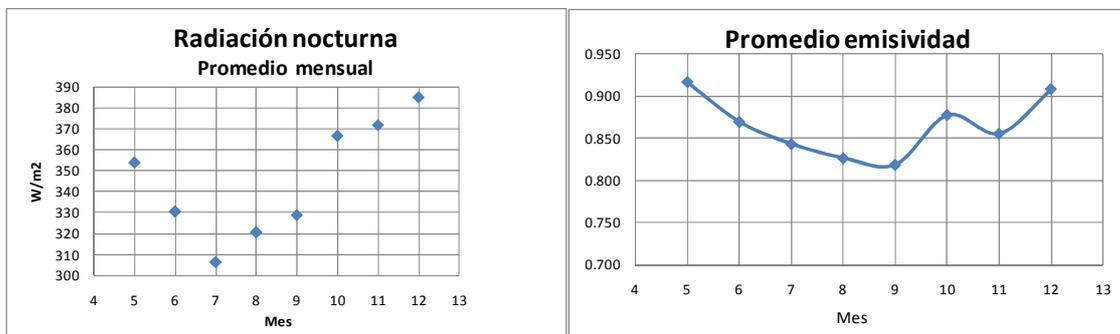


Figura 12. *Variación anual del promedio mensual de la radiación nocturna y de la emisividad.*

Se puede notar el gran cambio que significó octubre respecto a los meses previos. Como ya se dijo, fue un mes con alta nubosidad. Revisando medidas de años anteriores, es común que durante este mes se presente este tipo de variación en la radiación IR.

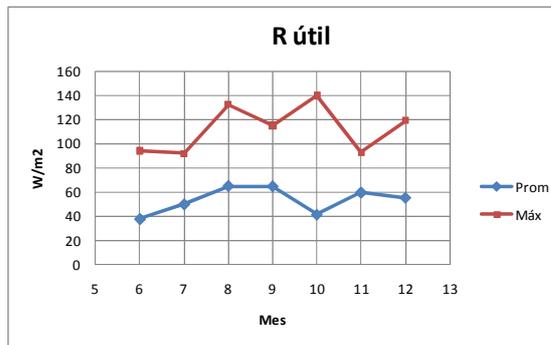


Figura 13. Potencial de enfriamiento del año 2011 para Salta.

En cuanto a lo que se podría esperar sobre la R útil se da en la figura 13. Este sería el potencial de enfriamiento para Salta. Como se puede apreciar no es grande, pudiéndose esperar del orden de 50 W/m<sup>2</sup> en promedio, con máximos de 120 a 140 W/m<sup>2</sup> para alguna noche excepcional.

### Medidas del 2012.

Se continuó midiendo de la misma forma que en el 2011, incorporando el termohigrómetro. En general, las diferencias de las temperaturas de rocío entre el psicrómetro y el termohigrómetro marcan un corrimiento del rango de medidas hacia valores menores en el último, aunque no tan grandes como las de noviembre de 2011. Esto se observa en las figuras de abajo, figuras 14 y 15, donde la diferencia es de un par de grados. Se indica como emis nuevo al cálculo realizado con la temperatura de rocío dada por el nuevo aparato. Mientras es prácticamente el mismo promedio entre medido y calculado en la fig. 14, en la 15 la diferencia es de 1,8 %.

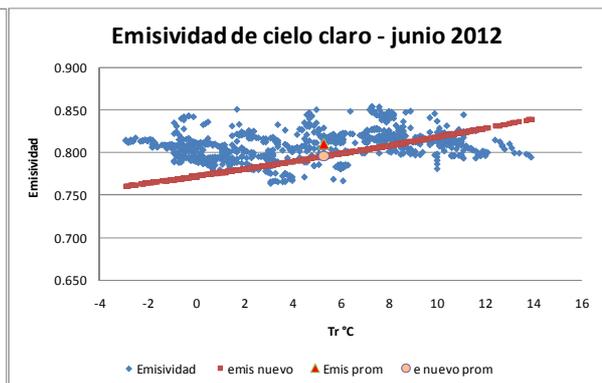
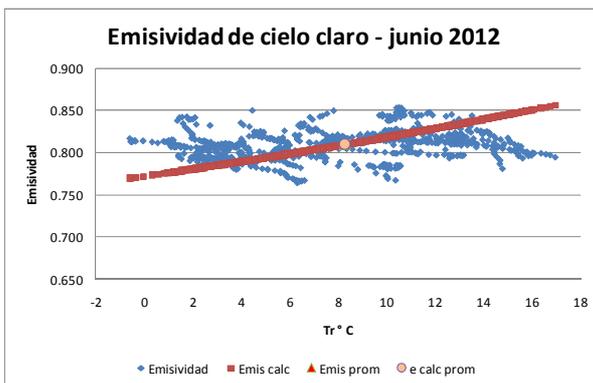


Figura 14. Emisividad de cielo claro usando el psicrómetro. Figura 15. Emisividad de cielo claro usando el termohigrómetro

### Conclusiones.

La adquisición de nuevo equipamiento permitió comenzar a medir nuevamente la radiación nocturna o radiación IR proveniente del cielo.

Se tuvo inconvenientes con la medida de la temperatura de rocío que se espera se pueda resolver pronto. Como las medidas de radiación no dependen de esta medida, se ha conseguido una buena base de datos para este año de radiación nocturna, abarcando el período comprendido entre mayo y diciembre.

La adquisición de un termohigrómetro pareció dar una solución al problema. Sin embargo no se dispone de medio alguno para calibrar por lo que se compara con las medidas tomadas simultáneamente de bulbo seco y de bulbo húmedo. Se encontraron diferencias especialmente en el periodo diurno por lo que se requiere un mejor seguimiento y estudio.

Los resultados logrados indican que la radiación IR que llega a superficie se encuentra entre 300 y 450 W/m<sup>2</sup>, siendo mayor de día que de noche. Desde el punto de vista de los promedios mensuales se observa que en el mes de julio ocurre el mínimo de esta radiación y luego crece. No obstante la emisividad sigue disminuyendo hasta septiembre. Esto se debe en buena medida en que los meses de agosto y septiembre son más secos que los previos. El resultado es que la radiación útil es en promedio mayor en estos dos meses.

La correlación de emisividad para cielo claro encontrada en trabajos previos sigue siendo buena porque no se ha encontrado ninguna diferencia mayor al 4 %, en general fue del 2 %. Esto es válido sólo para medidas de cielo claro. Cuando se lo aplica al resultado de las medidas del termohigrómetro, pareciera que las diferencias son un poco mayores aunque se debe tener en cuenta que la correlación fue realizada con el psicrómetro. De todas formas no llegó nunca al 4 %.

## 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., O. Ávila Blas. (2002) *Predicción De La Emisividad De La Atmósfera A Partir De Modelos Estadísticos*. Actas del XI Congreso ibérico e VI congreso iberoamericano de energía solar, trabajo 46 , Portugal.
- Frigerio E..(2004) *Radiación nocturna: Campañas en Cachi*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 8, N° 2, pp 11.25-11-28, La Plata.
- 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.
- Busano J. P., Frigerio E. (2007) *Evolución de la temperatura de rocío para el cálculo de la emisividad media*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 11, pp 11.67-11.72, San Luis.
- Frigerio E., Busano J. P. (2007) *Depresión nocturna en Salta*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 11, pp 11.89-11.93, San Luis.

## ABSTRACT

During 2011 atmospheric infrared radiation was measure to get a better dataset and acquire confidence in the new equipment. Aside from radiation, meteorological measurements were performed to correlate with her. In spite of the problems that appear with the meteorological measures, a good radiation database was obtained for this year. Results of the measures in IR-radiation and the apparent emissivity are given. Also is given what is expected that radiate to sky a surface with high emissivity.

**Keywords:** Radiation, atmosphere, nocturnal radiation, emissivity.