

## **EMISIVIDAD INFRARROJA ATMOSFÉRICA Y TIPO DE NUBOSIDAD**

Irene De Paul, Daniel Hoyos  
CIUNSa - Departamento de Física  
Universidad Nacional de Salta  
Bolivia 5150 – 4400 - Salta  
Tel.: (0387) 4255424, (0387) 4255489. [depaul.irene@gmail.com](mailto:depaul.irene@gmail.com)

*Recibido 14/08/13, aceptado 23/09/13*

**RESUMEN:** Se busca determinar con precisión las condiciones de cielo claro que permitan emplear la correlación entre emisividad y temperatura de rocío obtenida anteriormente, así como establecer una correlación entre emisividad y tipo de nubosidad presente, a partir del análisis por procesamiento digital de imágenes de fotografías cenitales del cielo. Los resultados obtenidos al presente permiten caracterizar el cielo claro con una emisividad media de 0,77 y establecer valores de correlación importantes entre emisividad y tipo de nube con el índice de color verde, promedio del color rojo y otros parámetros.

**Palabras clave:** radiación infrarroja, potencial de enfriamiento, emisividad, tipos de nubes, procesamiento de imágenes, modelo RGB.

### **INTRODUCCIÓN**

El enfriamiento pasivo por medio de la emisión de radiación infrarroja al cielo (IR) cobra cada vez más relevancia a partir del encarecimiento de los recursos de enfriamiento basados en combustibles convencionales. El conocimiento del potencial de enfriamiento disponible no es simple, se determina a partir del balance entre la emisión de radiación infrarroja proveniente del cielo y la emitida por la tierra, la determinación de la emisividad infrarroja al cielo y su correlación con parámetros que puedan ser medidos desde tierra. Estos aspectos y su aplicación en distintos ámbitos, especialmente en el campo del uso racional de energía como criterio de enfriamiento en el diseño de viviendas y otros dispositivos dio origen a la realización de medidas de emisividad infrarroja al cielo en la Universidad de Salta desde hace tiempo (Frigerio, 2001; Frigerio y Ávila Blas 2002; Frigerio, 2004; Busano y Frigerio, 2006 y 2007; Frigerio y Busano, 2007, Frigerio 2012).

Para medir la radiación infrarroja se emplean pirgeómetros que detectan el rango de radiación infrarroja lejana o térmica que viene del cielo con una termopila ubicada debajo de una cubierta de silicio que permite el paso del rango térmico de la radiación. Estos instrumentos son costosos y desde hace tiempo se intentó correlacionar la emisividad al cielo con parámetros que puedan ser medidos en tierra, principalmente la temperatura de rocío, en condiciones de cielo claro, de baja emisividad (Berdahl y Fromberg, 1982, Martin y Berdahl, 1984, Frigerio, 2001). De esta manera se procura poder predecir estadísticamente la emisividad esperada y determinar así el potencial de enfriamiento disponible (Frigerio y Ávila Blas, 2002). Para mejorar las correlaciones obtenidas es necesario poder precisar cuándo se presentan realmente condiciones de cielo claro y, eventualmente, determinar qué rangos de emisividad se puede esperar ante distintos tipos de nubosidad.

Según las normas de la Organización Meteorológica Mundial la nubosidad se determina por el observador meteorológico dividiendo la bóveda celeste en octantes y evaluando el número de partes que están cubiertas por nubes. Otra forma menos subjetiva es a partir de medidas satelitales de radiación infrarroja que, si bien es más precisa, mide la radiación hacia arriba de las nubes y puede no detectar la presencia de nubes delgadas. Ambos métodos tienen sus alcances y limitaciones.

El presente trabajo tiene por objetivo investigar si es posible determinar el tipo de nubes presentes a partir del tratamiento digital de imágenes tomadas con una cámara fotográfica y si es posible establecer alguna correlación entre la emisividad medida y alguno de los parámetros que surgen del procesamiento de imágenes. Con esto se procura establecer algún método de medida más económico para determinar el potencial de enfriamiento en distintas condiciones, en particular bajo condiciones de cielo claro en las que valen las correlaciones existentes con variables medidas en superficie.

### **MEDICIONES**

Las medidas de radiación IR se hicieron con un pirgeómetro CGR3 de Kipp y Zonen, con sensibilidad de  $10,29 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$  cuyo rango espectral se encuentra entre los 4 y 40  $\mu\text{m}$ , aproximadamente. El instrumento provee un voltaje proporcional al intercambio de radiación entre el cielo en su campo de visión y el instrumento que se encuentra a temperatura T medida por un detector, con lo que se puede calcular la radiación IR medida y la emisividad infrarroja al cielo ( $\epsilon = \text{radiación IR} / \sigma T_{\text{amb}}^4$ ) (Frigerio y otros, 2013). La frecuencia de medidas es de 0,017 Hz y para la comparación con las fotos analizadas se promediaron los valores medidos en una hora alrededor de la hora en que fue tomada la imagen, por ejemplo, si la foto fue tomada a la 18hs los valores de emisividad medidos se promediaron entre la hora 17:30 y 18:30hs y ese valor de emisividad media se correlaciona con la foto. Las fotos fueron tomadas con una cámara digital SONY DSC-P73 de 4.1 Mpixels en modo automático. La cámara mide el rango visible entre 400 y 700 nm aproximadamente, capturando las imágenes en color con el modelo de color RGB que filtra la luz que recibe en cada pixel en tres colores: rojo (R), verde (G) y azul (B).

## MÉTODO DE TRABAJO

El método de trabajo consistió en tomar fotos cenitales del cielo colocando la cámara en el mismo soporte que tiene el pirgeómetro apuntando al cielo, a las 8hs y a las 18hs en que el sol está bajo sobre el horizonte, realizar el procesamiento de imágenes empleando un programa desarrollado por uno de los autores y poniéndolas en correlación con los valores de emisividad a esas horas determinados a partir de las medidas realizadas con pirgeómetro. A veces, bajo particulares condiciones meteorológicas, por ejemplo cielos muy cubiertos, se tomaron fotografías a otras horas y la correlación se establece con medidas de emisividad a esas horas.

Para establecer la tipología de nubes se recurrió en principio al Atlas Internacional de Nubes de la Organización Meteorológica Mundial (1987) que tiene cuatro categorías de nubes: nubes altas, medias, bajas y de desarrollo vertical. Como el interés del trabajo es determinar las condiciones de cielo claro y tener en cuenta también las condiciones en que el cielo está parcialmente nublado se optó por generar una tipología propia consistente en cinco tipos, que eventualmente puede ser modificado a posteriori en función de los resultados que se obtengan:

Tipo 1: cielo despejado

Tipo 2: nubes altas, tipo cirrus.

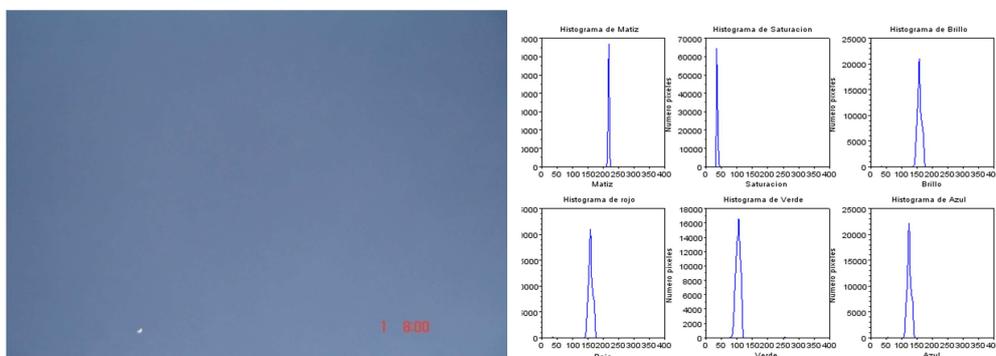
Tipo 3: nubes bajas delgadas, tipo stratus.

Tipo 4: nubes espesas bajas o medias, tipo stratocúmulus.

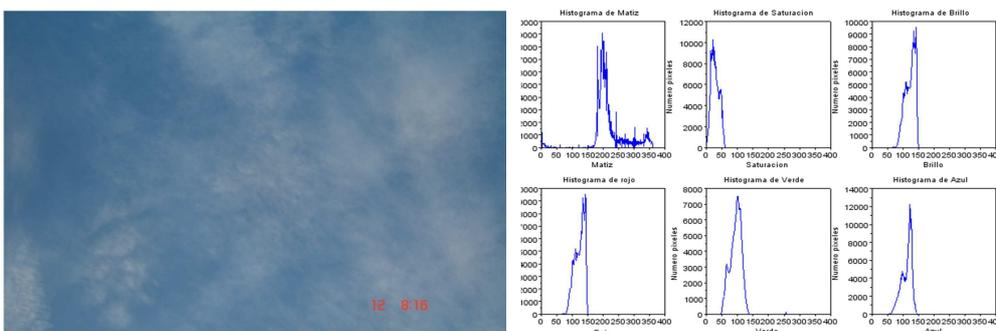
Tipo 5: nubes cúmulus, espesas y de alto desarrollo vertical.

Las fotos tomadas se clasificaron según su tipo y fueron analizadas con el programa SCIPRO que provee los histogramas correspondientes al modelo de color RGB, esto es, el número de pixels en la imagen correspondiente a cada color, normalizado en el rango 0-255 bytes, el promedio sobre toda la imagen (*promedio*) y la desviación standard STD. El programa también provee los histogramas correspondientes al modelo de color HSV, matiz (Hue, H), saturación (Saturation, S) e intensidad (Value V). El matiz se refiere a la frecuencia dominante del color dentro del espectro visible, se mide en el círculo cromático entre 0° y 360°; la saturación S se refiere a la cantidad de color (pureza), se mide en porcentaje y su rango va desde muy claro a muy oscuro; la intensidad V es la cantidad de blanco o negro que posee un color; se mide de 0 a 255 bytes sobre el pixel de color que presente el máximo valor, en este caso, el rojo. También se calculó el promedio (*promedio*  $X$ ) y la desviación estándar (STD  $X$ ), donde  $X$  puede ser cualquiera de las siguientes variables: R, G, B, H, S y V.

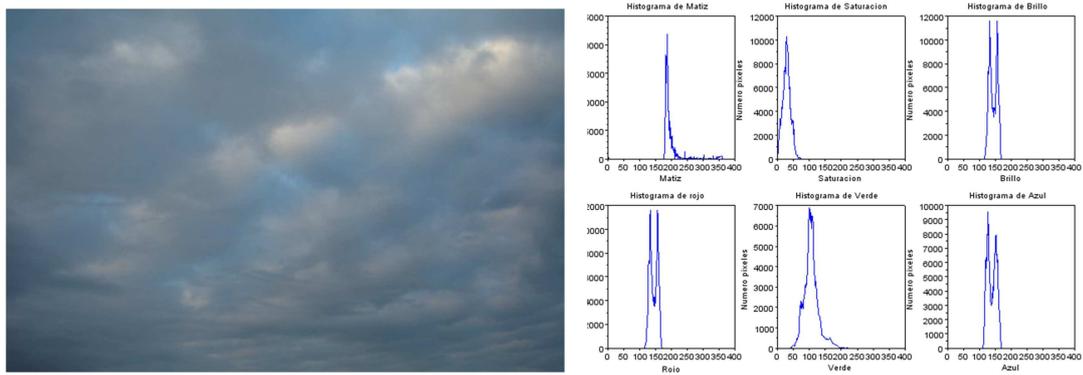
A modo de ejemplo, las figuras 1 a 5 muestran una foto característica de cada tipo de nube y los histogramas correspondientes al análisis de esa foto, en la que al valor V se denominó "brillo". Se pueden comparar las diferencias entre los histogramas correspondientes a las distintas imágenes, la clara monocromaticidad en el tipo 1 (cielo claro) mientras que en los restantes tipos se observa un espectro de frecuencias presentes en la imagen, más o menos amplio y complejo, a medida que aumenta el tipo de nubosidad.



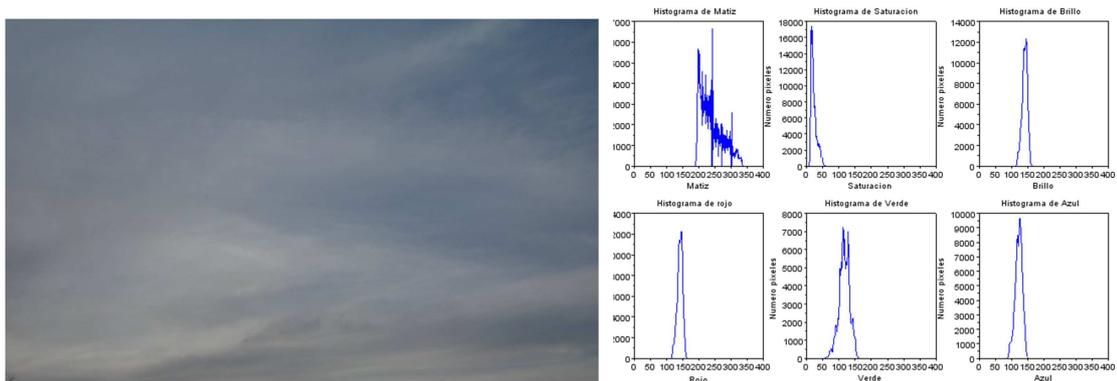
Figuras 1. Imagen del cielo e histograma correspondiente de una foto característica del Tipo (1).



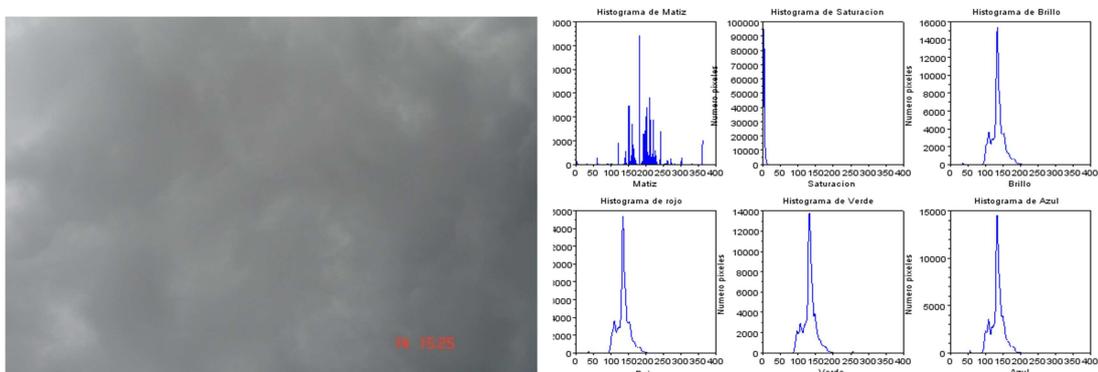
Figuras 2. Imagen del cielo e histograma correspondiente de una foto característica del Tipo (2).



Figuras 3. Imagen del cielo e histograma correspondiente de una foto característica del Tipo (3).



Figuras 4. Imagen del cielo e histograma correspondiente de una foto característica del Tipo (4).



Figuras 5. Imagen del cielo e histograma correspondiente de una foto característica del Tipo (5).

## CORRELACIONES

A los efectos de establecer correlaciones numéricas entre la emisividad medida, el tipo de nube presente y los distintos parámetros que surgen del análisis computacional, se determinó para cada histograma el número máximo absoluto de píxeles (*máximo X*), su dispersión ( $STD\ 1\ X$ ), el índice correspondiente al máximo (*índice X*) y la desviación standard en el índice ( $STD\ I\ X$ ).

Se analizaron en total 71 imágenes; el número de fotos analizadas de los diferentes tipos de nubes osciló entre 10 y 23 imágenes por cada tipo; se calcularon los promedios de todos los parámetros ( $X$ ) correspondientes a cada tipo de nubosidad y sus coeficientes de correlación con la emisividad y el tipo de nube, con los que se construyó la siguiente tabla (Tabla I) en la que se resaltó en colores los valores más significativos de los coeficientes de correlación. Las desviaciones standard correspondientes a cada parámetro se explicitan en la tabla, donde se observa que hay una gran dispersión en los valores obtenidos; sin embargo, pese a que la muestra analizada no era muy grande, hay valores significativos que sugieren que se podría establecer las correlaciones buscadas a partir del análisis digital de imágenes.



Tabla 1. Coeficientes de correlación entre los promedios por tipo de nube y las parámetros que surgen del análisis del histograma.

El coeficiente de correlación general entre emisividad y tipo de nube es 0,731 que resulta significativo. Son importantes las correlaciones entre el tipo de nube con el promedio del filtro rojo y la saturación, así como con el índice del color verde, superiores a 0,9. También es importante la correlación entre la emisividad y el índice del color verde, 0,939, que parece indicar por dónde buscar la relación entre emisividad y tipo de nube. Son algo menores las correlaciones con la emisividad del promedio del rojo y del máximo del azul, y de la saturación con el tipo de nube.

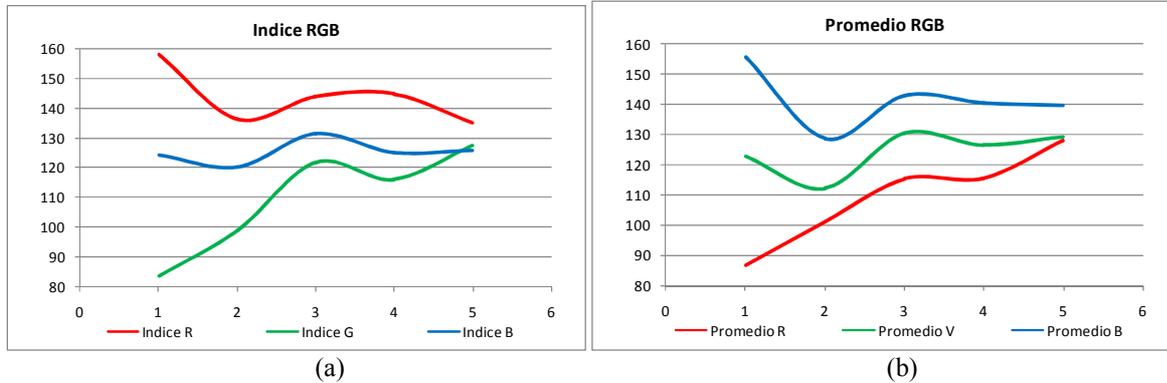


Figura 6. Promedio por tipo de nube del índice del máximo (a) y del promedio por imagen (b) en función del tipo de nube.

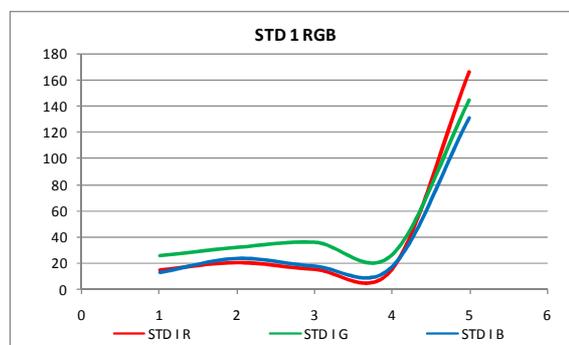


Figura 7. Desviación estándar del promedio en función del tipo de nube.

Se calcularon los promedios por tipo de nube (1, 2, 3, 4 y 5) correspondientes a todos los valores analizados. Los gráficos de estos promedios en función del tipo de nube muestran que para el índice correspondiente al máximo de cada color (*índice X*) (figura 6-a), y el promedio sobre toda la imagen (*promedio X*) (figura 6-b), se obtiene curvas desacopladas que parecen

converger hacia algún valor próximo en el tipo 5. Esto está de acuerdo con el histograma correspondiente al matiz (H) que muestra un espectro amplio con la contribución de muchas frecuencias. El análisis de la desviación estándar correspondiente al promedio se muestra en la figura 7 confirmando esta observación mostrando un brusco aumento de STD 1 en el tipo 5.

Un resultado curioso surge cuando se grafica la emisividad promedio por tipo, en función del tipo de nube: la figura 8 muestra que la curva presenta un máximo en el tipo 3. La tipología propuesta se basó esencialmente en construir clases de imágenes que presentaran una nubosidad creciente con el tipo, de manera que uno esperaría que la emisividad infrarroja medida creciera monótonamente con el tipo, debido a la presencia de una mayor cantidad de agua en forma de vapor o gotas en suspensión.

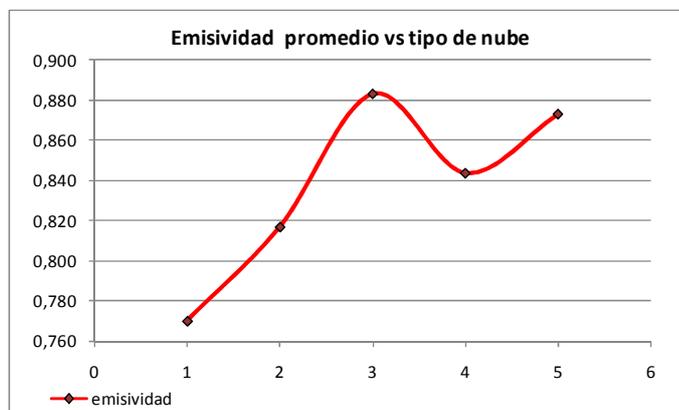


Figura 8. Emisividad media por tipo en función del tipo de nube.

Si este resultado se mantiene cuando se amplíe la muestra estadística sobre la que se trabaja, será necesario profundizar en las características físicas de las nubes para ver si las incluidas en el tipo 3 se pueden distinguir de los tipos 4 y 5 a partir de medidas de emisividad.

Por otra parte, el valor medio de emisividad correspondientes al cielo claro, tipo 1, se encuentra en 0,77 lo que provee un valor de referencia para filtrar la emisividad de cielo claro en las medidas que se realicen y se pueden poner en correspondencia con las correlaciones propuestas oportunamente con la temperatura de rocío (Frigerio, 2001).

## CONCLUSIONES

- Se generó una tipología propia para clasificar los clases de nubosidad observables consistente en cinco tipos que tiene en cuenta una nubosidad creciente, a partir de un cielo claro.
- Se analizaron fotografías cenitales del cielo para cada tipo de nubosidad con el programa SCIPRO y se generaron los histogramas correspondientes a los modelos de color RGB y HSV.
- Se calcularon los promedios de todos los parámetros correspondientes a cada tipo de nubosidad y los coeficientes de correlación con la emisividad y el tipo de nube.
- El coeficiente de correlación general entre emisividad y tipo de nube es 0,731 que resulta significativo.
- Las correlaciones entre el tipo de nube y el *promedio* del filtro rojo y la *saturación*, así como con el *índice* del color verde, son superiores a 0,9.
- La correlación entre la emisividad y el *índice* del color verde es 0,939, que parece indicar por dónde buscar la relación entre emisividad y tipo de nube. Son algo menores las correlaciones con la emisividad del *promedio* del rojo y del *máximo* del azul.
- La emisividad promedio por tipo en función del tipo de nube presenta un máximo en el tipo 3, algo inesperado y que requiere mayor análisis.
- El valor medio de emisividad correspondientes al cielo claro, tipo 1, es 0,77 lo que provee un valor de referencia para filtrar la emisividad de cielo claro en las medidas que se realicen y se pueden poner en correspondencia con las correlaciones propuestas oportunamente con la temperatura de rocío.
- Si bien se obtuvo una gran dispersión en los valores de los coeficientes de correlación calculados hay valores significativos que sugieren que se puede establecer las correlaciones buscadas a partir del análisis de imágenes, tal como era el objetivo del trabajo.

## REFERENCIAS

- Frigerio E. (2001) *La radiación nocturna como fuente fría: su caracterización y uso*. 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.
- Frigerio E. (2012) *Nuevas medidas de radiación atmosférica en Salta*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 16, pp 11.31-11.38, Rosario.
- Jensen, J.R. (1996) *Introductory digital image processing – A remote sensing perspective 2nd Ed.* Prentice Hall Series in Geographic Information Science.
- Organización Meteorológica Mundial /World Meteorological Organization (1987) *Atlas Internacional de Nubes /International Cloud Atlas/*, Ginebra, Suiza. Publicación n° 407, Vol I, [ISBN 92-63-30407](#), Vol II, [6ISBN 92-63-12407-8](#).
- Berdahl, P., Fromberg, R. (1982) *The thermal radiance of clear skies*, Solar Energy, Vol 29, N°4, pp 299-314.
- Berdahl, P., Martin, M., (1984) *Emissivity of clear skies*, Solar Energy, Vol 32, N° 5, pp:663-664.
- Martin, M., Berdahl, P., (1984) *Characteristics of infrared sky radiation in the United States*, Solar Energy, Vol 33, N° 34, pp 321-336
- Frigerio, E., De Paul, I., Aparicio, D. (2013) *Radiación infrarroja atmosférica en Salta e influencia urbana*. Aceptado para su publicación en AVERMA, 2013.

## ABSTRACT

The purpose of the search is to determine accurately the conditions of clear sky that allow to use the correlation between emissivity and dew point temperature obtained previously, as well as to establish a correlation between emissivity and type of present cloudiness, by analyzing zenithal photographs of the sky with image processing. The results obtained to the present allow to characterize the clear sky with an average emissivity of 0,77 and to establish important values of correlation between emissivity and type of cloud with the index of green color, average of the red color and other parameters.

**Keywords:** infrared radiation, cooling potential, emissivity, types of clouds, image processing, RGB model.