

**VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ALTURA:  
 RESULTADOS PRELIMINARES**

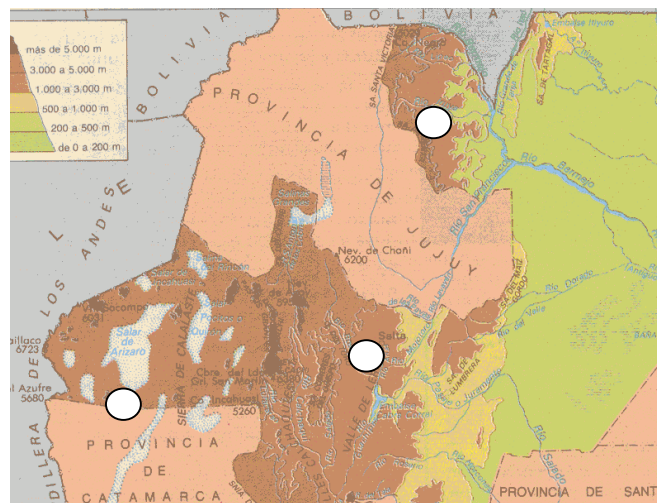
D.Hoyos, F. Tilca, C. Cadena  
 INENCO (CONICET) CIUNSa(U.N.Sa)  
 Tel. 0387-4255578 - Fax 0387-4255578 e-mail: hoyosd@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Se describe en el presente trabajo los resultados preliminares obtenidos del análisis de datos de radiación de radiación solar, obtenidos desde principios de 2001 a la fecha. Los mismos fueron adquiridos automáticamente para ser procesados con posterioridad en tres localidades de la provincia de Salta, que se diferencian (entre otras razones) por su altitud sobre el nivel del mar. El análisis hace hincapié en el incremento del índice de claridad, con la altura, y en que este hecho es más notorio después del invierno boliviano, y antes de la temporada de lluvias.

**Palabras clave:** energía solar, radiación, medición.

**INTRODUCCION**

Para diseñar un sistema que funciona con energía solar es muy importante poder estimar la radiación solar. Existen diversos métodos para hacerlo, a partir de cierta información o archivos de datos, pero la mayoría de ellos no tiene en cuenta la



**Figura 1: noroeste argentino, tres sitios de medición**

variación de la radiación con la altura. En la región del noroeste argentino, por su características orográficas, las localidades se encuentran insertas en general en valles situados a diversas alturas y con microclimas muy distintos. Para poder calcular estos sistemas solares se necesita un método de estimación de la radiación solar que tenga en cuenta la altura. En este trabajo se analiza la influencia de la altura en la radiación solar.

Si se realiza un análisis teórico de los diferentes parámetros que inciden en la variación de la radiación solar desde el tope de la atmósfera hasta el nivel de suelo, se puede observar que el agua que se encuentra en suspensión en la atmósfera es el parámetro más importante que produce esta variación. También los aerosoles, el ozono y mezcla de gases inciden en la variación de la radiación con la altura. Por lo expuesto el clima, la orografía, y la altura del lugar influyen en la radiación solar global.

Para analizar la variación de la radiación con la altura se deben construir estaciones de medidas que estén ubicadas estratégicamente de forma que cubran una variación de altura significativa. Se debería poder medir agua precipitable pero esta magnitud resulta muy compleja de poder estimar. .

Con este fin se eligieron tres localidades mostradas en la figura 1, que se encuentran a distintas alturas, aunque desafortunadamente con distintos microclimas. Ellas son:

<i>Ciudad</i>	<i>Altura(m)</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<b>Salta (ciudad)</b>	<b>1100m</b>	<b>-24.73°</b>	<b>65°</b>
<i>Iruya (San Isidro)</i>	<i>3100 m</i>	<i>-22.8°</i>	<b>66° 30'</b>
<i>LA Puna (Salar de Pocito)</i>	<i>4100m</i>	<i>-24.29°</i>	<b>64°30'</b>

**Tabla 1: ubicación de las localidades**

### ESTACIONES DE MEDIDA

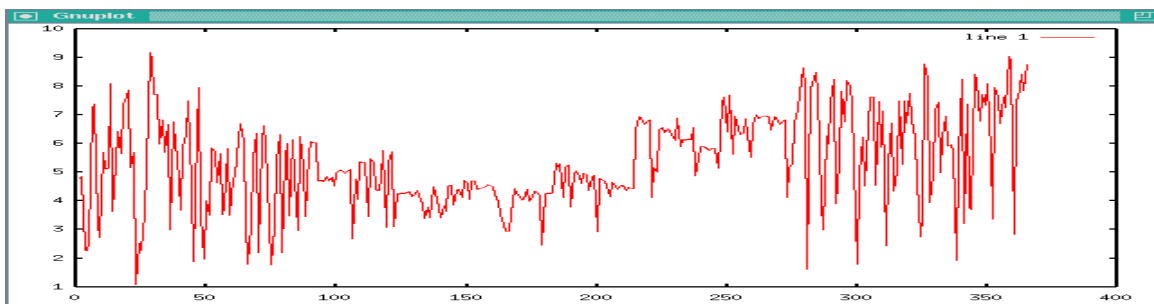
La estación de medida de la Ciudad de Salta se encuentra ubicada en un valle a 1100m de altura y su clima es templado con estación seca. El sistema de medida está compuesto por: una computadora que almacena la información, el sistema de toma de datos de marca NUDAM y el sensor de radiación. El sensor es un instrumento EPPLEY BW 20729, que mide desde los 300 a los 3000 nm; fue contrastado con instrumento a tal fin del INENCO (Instituto de Energías No Convencionales), durante el desarrollo de estas mediciones. Se estima un error total del sistema de medida de un 5%. El sistema de medida toma los datos cada cinco minutos.

La estación Iruya se encuentra en una quebrada a 3100 m de altura y su clima es más riguroso que el de la ciudad de Salta, también templado con estación seca. El sistema de medida esta compuesto por un Sistema de medición de radiación solar del tipo SOLRAD de marca Kipp Zonner, es un sistema autónomo que guarda la radiación solar diaria. El sensor utilizado es del tipo CM3 marca Kipp Zonner que mide desde los 300 a los 3000 nm; fue calibrado con un instrumento del INENCO (Instituto de Energías No Convencionales), durante el desarrollo de estas mediciones. Se estima un error total del sistema de medida de un 5%. El sistema guarda las integrales diarias

La estación de la Puna se encuentra en una meseta elevada a más de 4000m de altura y su clima es desértico. El sistema de medida utilizado es un Datalogger OMEGA, El sensor es un instrumento EPPLEY BW 20729, que mide desde los 300 a los 3000 nm, Se estima un error total del sistema de medida de un 5%. El sistema de medida toma los datos cada 15 minutos.

### ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN MEDIA DIARIA

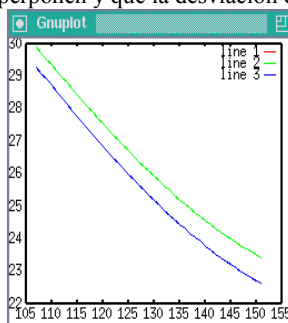
Los datos que se consideran corresponden al año 2002. Para realizar el análisis de los mismos se calculó la radiación media diaria (RMD) de las estaciones de cada día del año, y en la figura 2 se puede observar, a modo de ejemplo, los datos obtenidos de la zona de Iruya.



**Figura 2: Radiación media diaria de la localidad de San Isidro en el año 2002**

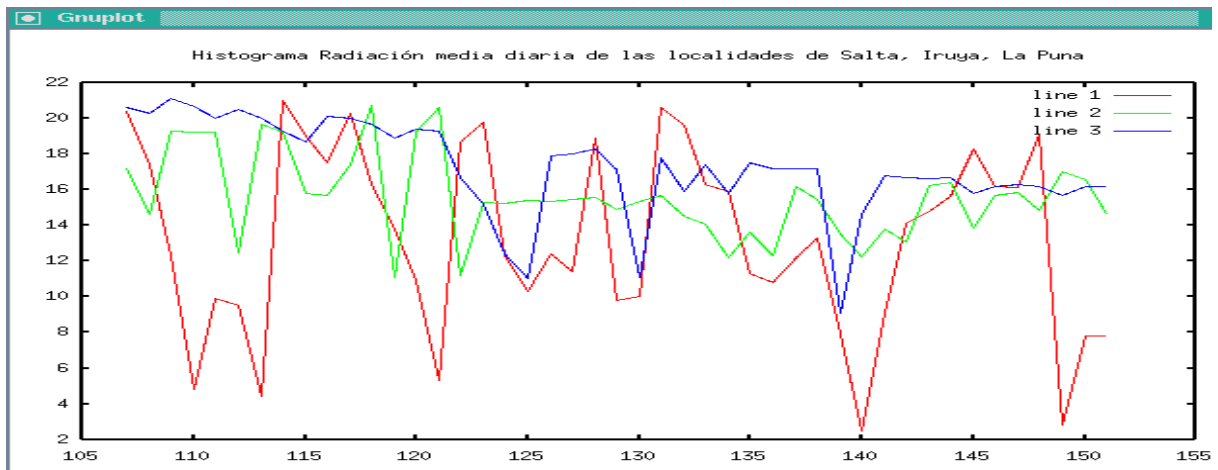
Para tener una primera aproximación al problema se analizó un mes y medio de medidas. El periodo corresponde a partir de Abril del año 2002. Este mes se caracteriza por ser seco, de baja nubosidad, con pocas precipitaciones y con una atmósfera casi diáfana en toda la región estudiada.

Se calculó la radiación extra terrestre media diaria La cual se muestra en la figura 3, en la misma se puede observar que las curvas correspondientes a la Puna y Salta se superponen y que la desviación estándar entre Iruya y Salta es de 5%



**Figura 3: Radiación media diaria extra terrestre**

Los datos medidos en las distintas localidades (Salta, Iruya, La Puna) se muestran en la figura 4.



**Figura 4:** Radiación media diaria correspondientes a los meses de abril y mayo de las localidades analizadas.

La curva superior es La Puna, La intermedia Iruya, mientras que la que tiene los picos descendentes más pronunciados es Salta ciudad.

Si se calcula el promedio de la RMD se obtiene la siguiente tabla.

<i>Localidad</i>	<i>Promedio de la Radiación media diaria[MJ/m<sup>2</sup>]</i>
<b>Salta</b>	<b>13.3</b>
<b>Iruya</b>	<b>15.62</b>
<b>La Puna</b>	<b>17.23</b>

**Tabla2:** Promedio de radiación media diaria en el mes de Abril

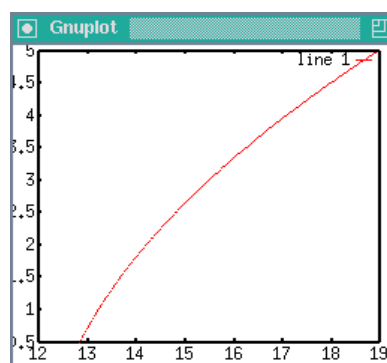
Con la altura de las localidades se interpoló una curva preliminar de la variación de la radiación media diaria con la altura. Se propone una función de segundo orden:

$$y = a \cdot x^2 + bx + c$$

donde

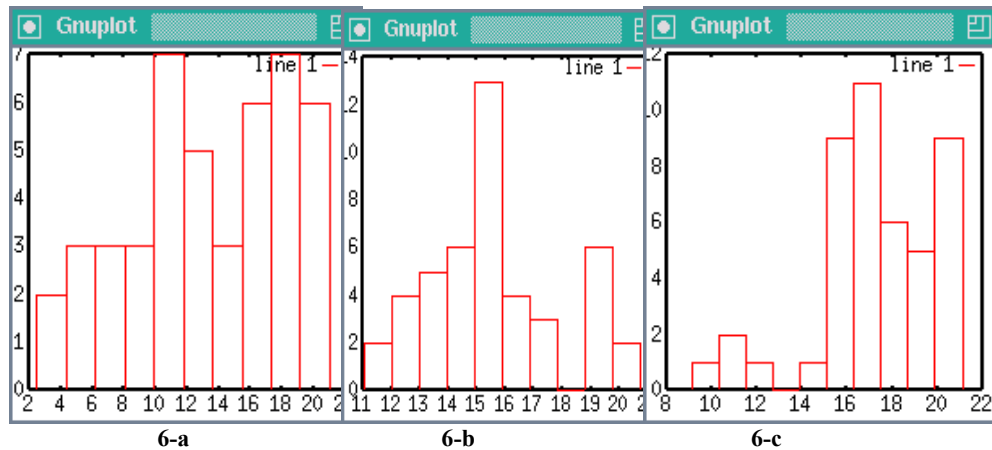
$$a = 0.15, \quad b = 0.52, \quad c = 12.53$$

En la figura 5 se observa esta función.



**Figura 5:** Variación de la radiación con la altura en zona de la cordillera de los Andes y Valles

En la figura 6 se pueden observar el histograma de la radiación media diaria de cada localidad.

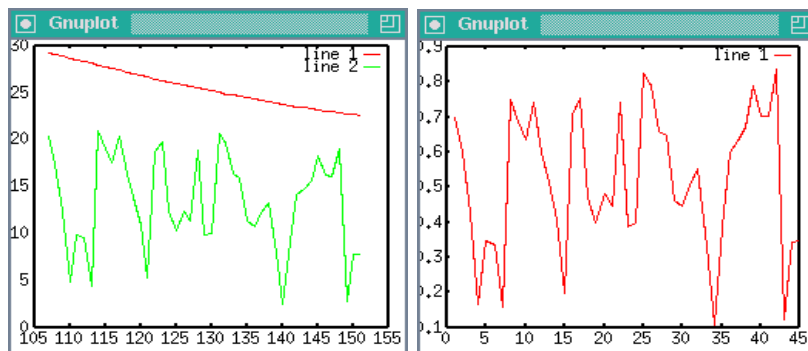


**Figura 6: Histograma de la Radiación Solar en distintas localidades 3-a Salta Capital, 3-b Iruya, 3-c La Puna**

Se observa que la radiación media diaria más frecuente en Iruya está comprendida entre 15 y 16 MJ/m<sup>2</sup>, en La Puna se encuentra entre 16 y 18 MJ/m<sup>2</sup>, y en Salta se tienen dos máximos uno entre 10 y 12 MJ/m<sup>2</sup> y otro entre 18 y 20 MJ/m<sup>2</sup>.

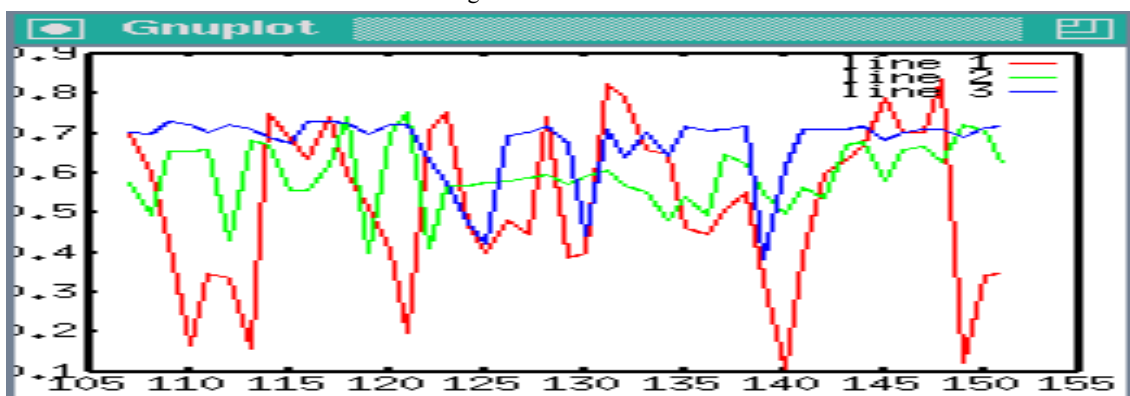
#### ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CLARIDAD (KT)

El índice de claridad es interesante de analizar, debido a que existen métodos de estimación de la radiación solar que lo utilizan como datos de entrada, como por ejemplo el método de Armstrong, Page y los métodos satelitales.



**Figura 7: radiaciones**

En la figura 7 se observa la radiación media diaria y la radiación extra terrestre media diaria correspondiente a la ciudad de Salta en la figura 8 se observa el índice de claridad diario  $K_t = H/H_0$  donde H es la radiación media diaria y  $H_0$  es la radiación media diaria de cada una de las localidades. En la figura 8 se muestran los índices de claridad diarios de las tres localidades.



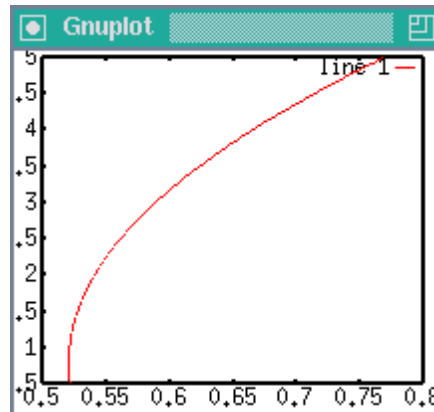
**Figura 8: Índice de Claridad diario de las localidades de Salta, Iruya y La Puna**

Calculando el Índice de Claridad Medio mensual se obtuvo la tabla 3

<i>Localidad</i>	<i>kt</i>
<b>Salta</b>	<b>0.52</b>
<b>Iruya</b>	<b>0.59</b>
<b>La Puna</b>	<b>0.67</b>

De esta tabla se interpoló una función cuadrática:

$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$  donde  $a = 0.013$ ,  $b = -0.02$ ,  $c = 0.52$  donde  $x$  es la altura de la localidad en km, el gráfico de esta función es la que se muestra en la figura 9



**Figura 9: Influencia de la altura en el índice de claridad**

## CONCLUSIONES.

El presente trabajo tiene por objeto analizar datos preliminares obtenidos en tres estaciones de medida Salta Capital, Iruya, y La Puna, para determinar la influencia de la altura en la radiación solar. Se trabajó sobre datos de un mes y medio del otoño, con el objeto de limitar la influencia del clima en la radiación solar y se obtuvieron dos regresiones que consideramos como provisionarias, hasta conseguir mayor cantidad de estaciones y años de medidas en la zona. Estas regresiones nos mostrarían una tendencia que suponemos no es lineal y corresponderían a la radiación media diaria, y el índice de claridad medio diario las mismas serían:

$RMD^* = 0.15 \cdot l^2 + 0.52 \cdot l + 12.53$  donde  $l$  = altura en kilómetros, RMD radiación media diaria promedio.

$Kt^* = 0.013 \cdot l^2 - 0.02 \cdot l + 0.52$  donde  $l$  = altura en kilómetros,  $Kt$  índice de claridad medio mensual.

## REFERENCIAS

Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.

N. Jeyakumaran and S. Kumar Solar Irradiation Isolines for Rapid Design of Solar System in Nigeria RERIC Vol 14 N2 p37