

MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN SANTIAGO DEL ESTERO

J.M. Simón¹ y R.E. Pinto²

UNSE – Av. Belgrano (s) 1912 – CP 4200 – Santiago del Estero
Tel. 0385-4509560 – jmsimon@unse.edu.ar y rpinto@unse.edu.ar

L.R. Acuña³ y H. van Meer⁴

INTA – Jujuy 850 – CP 4200 – Santiago del Estero
Tel. 0385-4224430 – lacuna@intasgo.gov.ar y hvanmeer@intasgo.gov.ar

RESUMEN: En este trabajo se analizan las actividades locales tendientes a registrar la distribución de la radiación solar, con adecuada resolución, en la provincia de Santiago del Estero. Para ello, y en el marco de un proyecto de investigación ejecutado entre varias universidades del Norte Grande, se realizó la adquisición e instalación de Estaciones Meteorológicas automáticas en nueve (9) lugares de la provincia, algunas con fondos del proyecto y otras mediante convenios.

Palabras clave: mediciones solarimétricas, heliofanía, piranógrafos, piranómetros, agrometeorología.

INTRODUCCION

Hasta el año 2006 las mediciones de la energía proveniente del Sol que se realizaban en la provincia de Santiago del Estero estaban ubicadas en dos lugares: una en el Aeropuerto de la ciudad Capital, operado por el Servicio Nacional de Meteorología (SNM), y la otra en el Establecimiento Agrícola La María a 20 km al sur de la ciudad Capital, operado por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Santiago del Estero.

Las mediciones que se realizaban eran de duración del brillo solar (*heliofanía*) mediante *heliógrafos* y de radiación global mediante *piranógrafos*. El sistema de registración mecánico de los piranógrafos no era confiable, ya que no se realizaba permanentemente su mantenimiento, control y calibración. Con los registros del día graficados en una curva sobre una faja de papel, se medía el área encerrada por la misma con un planímetro (integración), y multiplicada por el factor de calibración se obtenía como resultado la sumatoria diaria de la radiación solar global, en W/m².

Durante el curso de ese año se inició un trabajo conjunto entre las Universidades Nacionales de Salta, Corrientes, Santiago del Estero y Regional Resistencia de la UTN, en el marco de un Proyecto de Investigación⁵, que entre otros objetivos, tenía textualmente los siguientes para Santiago del Estero:

Evaluación del recurso solar – eólico

“Uno de los mayores problemas que encuentran los investigadores de Energía Solar es el desconocimiento del recurso solar. (...) Teniendo en cuenta las características del país y los problemas energéticos que lo afectan, se elaboró un Proyecto para la instalación de una Red de Mediciones Solarimétricas, en base a distintas prioridades, según el uso final que se le dé a la información. (...) El conocimiento de este recurso no sólo interesa para ser usado como alternativa en aquellos lugares más favorecidos climáticamente, sino también para ayudar a la incorporación a la producción de zonas áridas, donde las condiciones de vida, combustibles, agua dulce, etc., hacen difícil su crecimiento económico. (...) Es necesario entonces realizar mediciones en lugares predeterminados, que serán interpretadas y procesadas para permitir una generalización de resultados a través de años de medición, creando una climatología de Radiación Solar” (García y Fernández, 1979). Fue así que en noviembre de 1978 comenzaron a instalarse las primeras estaciones de medición de la Red Solarimétrica en Argentina, proyecto financiado inicialmente por la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.).

Esta red estuvo funcionando un período bastante largo y se logró una toma de datos sistemática durante algunos años, datos que permitieron elaborar mapas de isoradiación de la Argentina⁶. Debido a diferentes circunstancias esta red dejó de funcionar en los años 90. Este motivo hace necesario y deseable continuar con la evaluación del recurso solar en forma continua y constante a fin de contar con datos actualizados necesarios para encarar proyectos en la zona. Por otro lado no se cuenta con mapas eólicos para esta zona. La toma de datos continua por algunos años permitirá tener valores precisos de radiación, velocidad y dirección de vientos y temperaturas ambiente para poder diseñar los equipos que aprovechen estos recursos de una manera adecuada para la región.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que se propone trabajar los distintos temas simultáneamente en las universidades que participan del proyecto, por lo que es necesario que los distintos grupos dispongan de equipamiento básico para realizar las mediciones. Dos de ellas ya tienen grupos formados, las otras dos están en formación y no cuentan con el instrumental mínimo para realizar investigación.

¹ José Mario Simón, Ing. Electricista, Profesor Titular en la FCEyT de la UNSE.

² Roberto Enrique Pinto, Ingeniero Electricista Electrónico, Profesor Titular en la FCEyT de la UNSE.

³ Luís Roberto Acuña, Técnico Agrometeorólogo, Estación Experimental Agropecuaria Sgo. del Estero del INTA.

⁴ Howard van Meer, Ingeniero en Regadío, Estación Experimental Sgo. del Estero del INTA.

⁵ Proyecto de Investigación N° 18617 - PICTO 2003, ANPCYT – UNSE: “Evaluación del Recurso Solar – Eólico. Desarrollo de un Sistema de Refrigeración utilizando Energía Solar como Fuente Térmica. Climatización de Ambientes mediante Enfriamiento Evaporativo”.

⁶ Grossi Gallegos, Hugo.

OBJETIVOS

El inicio de los trabajos en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) dentro del Proyecto de Investigación, grupo integrado por los dos docentes autores del presente trabajo y dos alumnos⁷, fue determinar los equipos de medición adecuados a las necesidades, con grados de precisión aceptable y disponibles en el país, y que fuera sencilla la transferencia de los datos registrados para el procesamiento en medios informáticos. Además, se debía concretar la instalación de puntos propios de medición de parámetros solares en forma simple y propender a la creación de otros puntos mediante convenios privados o institucionales, a efectos de ampliar la plantilla de coordenadas geográficas en la provincia con registros solares-eólicos referenciales para uso técnico-científico.

De todas las Estaciones Meteorológicas analizadas se eligió por prestaciones y precios la de marca Davis⁸, modelo Vantage Pro2, con sensores de medición de los siguientes parámetros meteorológicos:

- Temperatura máxima, mínima y media.
- Humedad relativa máxima, mínima y media.
- Heliofanía media
- Radiación solar
- Radiación ultravioleta
- Dirección y velocidad media del viento
- Precipitación total de lluvia
- Evapotranspiración

INSTRUMENTOS

Para la selección y posterior adquisición de las Estaciones Meteorológicas se puso especial atención en las características técnicas de los Sensores de Radiación Solar y de UV, y en la facilidad con que se podían realizar sus mantenimientos.

Sensor de Radiación Solar

Los sensores de radiación solar seleccionados (modelo 6450) son piranómetros que miden radiación global en el plano horizontal, o sea la suma de los componentes directos y difusos de la irradiación solar en el punto de medición.

El transductor del sensor, que convierte la radiación incidente en corriente eléctrica, es un fotodiodo de silicio con gran respuesta espectral, herméticamente sellado. Con el voltaje de salida del sensor, la consola calcula y muestra la irradiación solar [W/m^2]. También integra los valores de irradiación y muestra la energía total incidente en un espacio de tiempo fijo [langley]⁹.

El armazón exterior protege el cuerpo del sensor de la radiación térmica y proporciona un camino de corriente de aire para la refrigeración del cuerpo por convección, minimizando el calentamiento del interior del sensor. Incluye un anillo de corte de operaciones para la respuesta de coseno, un indicador plano para controlar su correcta nivelación, y las aletas para ayudar a alinear el sensor con los rayos del sol.

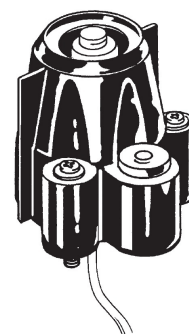


Figura 1: Sensor de Radiación Solar 6450

El espacio entre el protector y el cuerpo también proporciona un camino de drenaje para el agua, reduciendo mucho la posibilidad de su acumulación. Cada sensor es calibrado en fábrica con un estándar secundario que es calibrado periódicamente con un “Eppley Precision Spectral Pyranometer” con la luz del día natural.

Las especificaciones generales brindadas por el fabricante se transcriben a continuación:

Operating Temperature	.....-40° to +65° C
Storage Temperature	..... -45° to +70° C
Transducer	..... Silicon photodiode
Spectral Response (10% points)	.....400 to 1100 nanometers
Cosine Response	
Percent of Reading	..... ±3% (0° to ±70° incident angle); ±10 % (±70° to ±85° incident angle)
Percent of Full Scale	..... ±2% (0° to ±90°)
I/O Specifications	
Green wire	.....Output (0 to +3VDC); 1.67 mV per W/m^2
Red & Black wires	.....Ground
Yellow wire	..... +3 VDC ±10%; 1mA (typical)
Temperature Coefficient	..... + 0.12% per °C
Reference temperature	..... 25°C
Correction per degree above reference temp	..... -0.12% of reading per °C
Correction per degree below reference temp	..... +0.12% of reading per °C
Housing Material	..... UV-resistant PVC plastic

⁷ Mirtcho Ditchoff y José Eduardo Moreno, alumnos de las carreras de Ing. Electromecánica y de Ing. Eléctrica respectivamente.

⁸ Davis Instruments – USA – www.davisnet.com

⁹ Un langley: 1 Ly = 41,8 kJ/m²

Las características de salida del Sensor brindadas por el fabricante se transcriben seguidamente:

Resolution and Units	1 W/m ²
Range	0 to 1800 W/m ²
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m ²) plus 45 W/m ² per 30 m of additional cable
Drift	up to ±2% per year
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)

La respuesta al coseno (típica) brindada por el fabricante es excelente, como se observa en la siguiente figura:

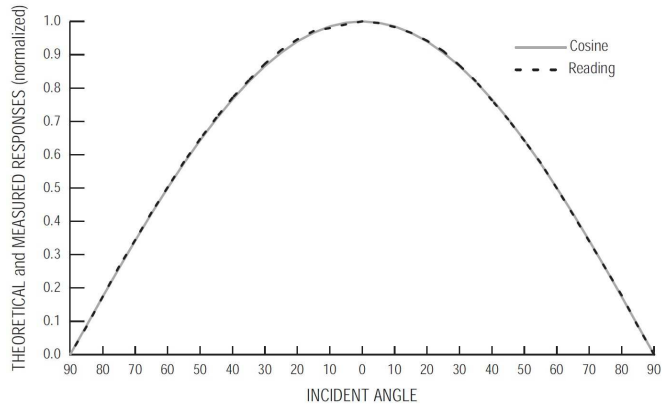


Figura 2: Respuesta a la ley del coseno del Sensor 6450

Sensor de Radiación UV

Los sensores de radiación ultravioleta seleccionados (modelo 6490) miden la porción del espectro UV del sol que quema la piel. Permite conocer el índice UV, valuación de dosis, y dosis diaria y acumulada. Su respuesta espectral es similar al Espectro de Acción de Eritema (C U), definido por McKinlay y Diffey (1987) y adoptado por la Commission Internationale de l’Eclairage (C.I.E.) como la representación estándar de la sensibilidad de la piel humana a la radiación UV.

El sensor mide la irradiación solar global de UV. El transductor es un fotodiodo semiconductor que responde sólo a la radiación en la región de interés. El difusor proporciona una excelente respuesta de coseno. Un filtro multicapa provee una respuesta espectral que es muy similar al Espectro de Acción de Eritema.

Es estable en la presencia de calor y humedad. El armazón exterior protege el sensor de la radiación térmica y proporciona un camino para la refrigeración por convección del cuerpo, minimizando el calentamiento del interior de sensor. Proporciona un anillo de corte de operaciones para la respuesta de coseno, un indicador plano para controlar su correcta nivelación, y las aletas para ayudar a alinear el sensor con los rayos del sol. Cada sensor es calibrado con un “Yankee Environmental Systems’ Ultraviolet Pyranometer”, modelo UVB-1, en la luz de día natural de verano.

Las especificaciones generales brindadas por el fabricante se transcriben a continuación:

Operating Temperature	-40° to +65°C
Storage Temperature	-45° to +70°C
Transducer	Semiconductor photodiode
Spectral Response	280 to 360 nm (Erythema Action Spectrum)
Cosine Response	±4% of reading (0° to 65° incident angle); ±9% of reading (65° to 85° incident angle)
I/O Specs	
Green wire	Output (0 to 2.5VDC); 150 mV per UV Index, 364 mV per MED/hour
Black & Red wires	Ground
Yellow wire	+3V ±10%, 2.4 mA
Housing Material	UV-resistant ABS plastic

Las características de salida del Sensor brindadas por el fabricante se transcriben seguidamente:

Ultra Violet (UV) Radiation Dose	
Resolution and Units	0.1 MEDs to 19.9 MEDs; 1 MED above 19.9 MEDs
Range	0 to 199 MEDs
Accuracy	±5% of daily total
Drift	up to ±2% per year
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Ultra Violet (UV) Radiation Index	
Resolution and Units	0.1 Index
Range	0 to 16 Index
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Yankee UVB-1 at UV Index of 10 [extremely high]) plus 0.5 UV Index per 100' (30 m) of additional cable

Cosine Response $\pm 4\%$ (0 \times to 65 \times incident angle); 9% (65 \times to 85 \times incident angle)

En las figuras 3 y 4 se presentan la respuesta al coseno y espectral (típicas) del sensor de radiaciones UV brindada por el fabricante:

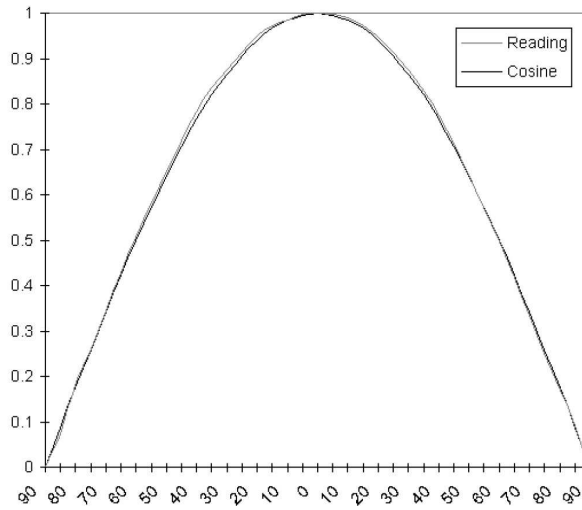


Figura 3: Respuesta a la ley del coseno del Sensor 6490

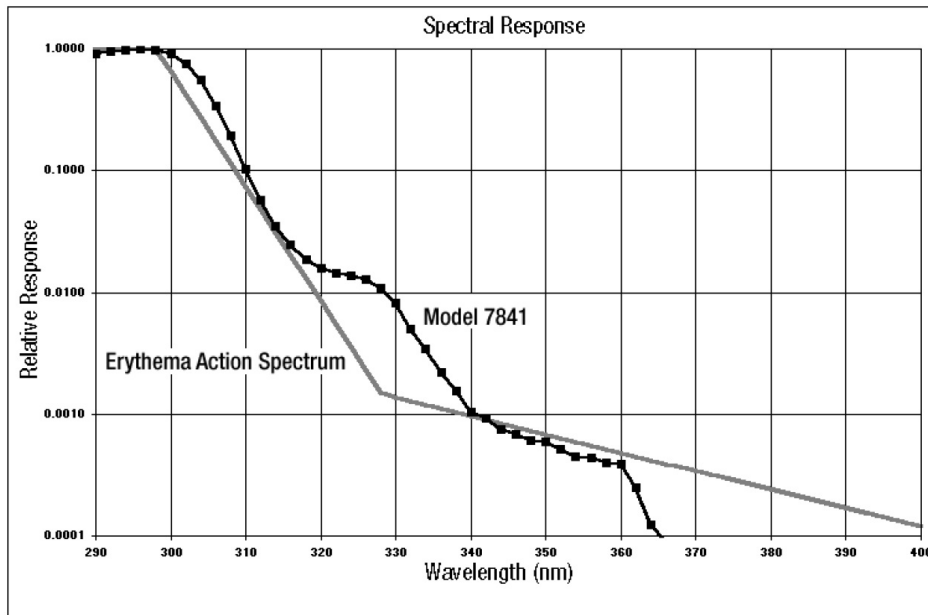


Figura 4: Respuesta espectral del Sensor 6490

ACCIONES DIRECTAS

A efectos de cumplir con los objetivos enunciados, el Proyecto de Investigación PICTO asignó dos estaciones meteorológicas automáticas completas para instalar en la provincia de Santiago del Estero. Paralelamente se tramitó la suscripción de un acuerdo institucional con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Santiago del Estero (INTA), concretándose el mismo en marzo de 2008, con el objeto de fortalecer la actividad y satisfacer la demanda de información climática, especialmente en parámetros de radiación solar, mediante la incorporación de datos provenientes de nuevos puestos meteorológicos, mejorando la cobertura de todo el territorio provincial. Con la ejecución del proyecto, el INTA adquirió de inmediato sensores de radiación para su estación meteorológica que operaba en el Establecimiento “La María” y dispuso la adquisición de otras seis estaciones registradoras automáticas Davis Vantage Pro2 completas para sumarse a las dos estaciones similares ya aportadas por el Proyecto de Investigación PICTO.

Además, se suscribió un Convenio de Cooperación Científica y Técnica entre la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) y la Empresa Distribuidora de Electricidad (EDESE), con el objeto de instalar un puesto de medición en el predio de la Estación Transformadora Monte Quemado¹⁰.

Las Estaciones Meteorológicas instaladas, como resultado de los Convenios realizados, operadas y mantenidas por meteorólogos¹¹ del INTA – Santiago del Estero, se detallan con sus coordenadas espaciales en la Tabla 1, de las cuáles “La María (estación automática)” opera on-line, y los registros de las nueve están a disposición pública, pudiéndose actualmente acceder a los mismos en la página del INTA: <http://agrometsgo.inta.gov.ar>

Nº	Nombre de Estación	Departamento	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud [m]
1	El Cuadro	Mitre	29° 22' 07,3"	62° 50' 26,1"	91
2	El Desvío	J.F. Ibarra	28° 03' 45,2"	62° 40' 01,2"	122
3	El Quemado	Pellegrini	26° 11' 55,0"	64° 10' 26,0"	308
4	Frías	Choya	28° 37' 12,0"	65° 05' 24,0"	335
5	La María (Est. Aut.)	Silípica	28° 01' 27,0"	64° 13' 55,0"	169
6	La María (Fondo)	Capital	28° 00' 12,8"	64° 23' 17,4"	233
7	Monte Quemado	Copo	25° 48' 01,0"	62° 50' 27,0"	222
8	Puerta de Chávez	Choya	28° 18' 47,8"	64° 35' 21,0"	242
9	San Carlos	Río Hondo	27° 40' 53,6"	64° 53' 29,3"	321

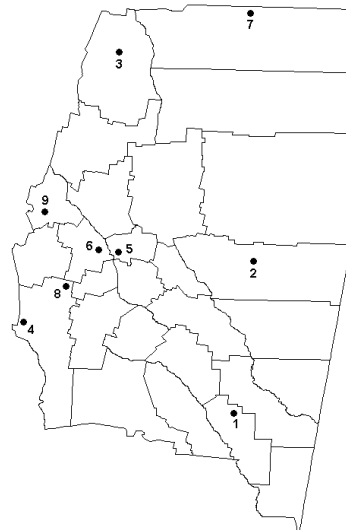


Tabla 1: Ubicación de las Estaciones Meteorológicas en Santiago del Estero

Figura 5: Mapa de ubicación de las EM

Estos datos van a estar próximamente también disponibles en la página web de la FCEyT de la UNSE: www.unse.edu.ar

MEDICIONES REALIZADAS

A modo de ejemplo, en las figuras 6, 7 y 8 se muestran las curvas de radiación solar en tres localizaciones distintas en un mismo día de la primavera santiagueña:

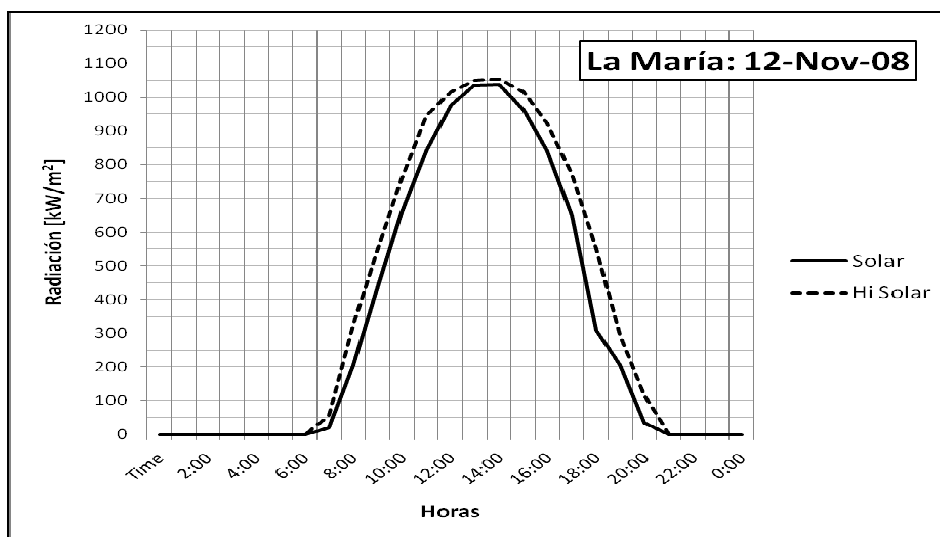


Figura 6: EM La María

¹⁰ Estación Transformadora de Energía Eléctrica ubicada en Monte Quemado, departamento Copo, provincia de Santiago del Estero.

¹¹ Luis Roberto Acuña y Howard van Meer.

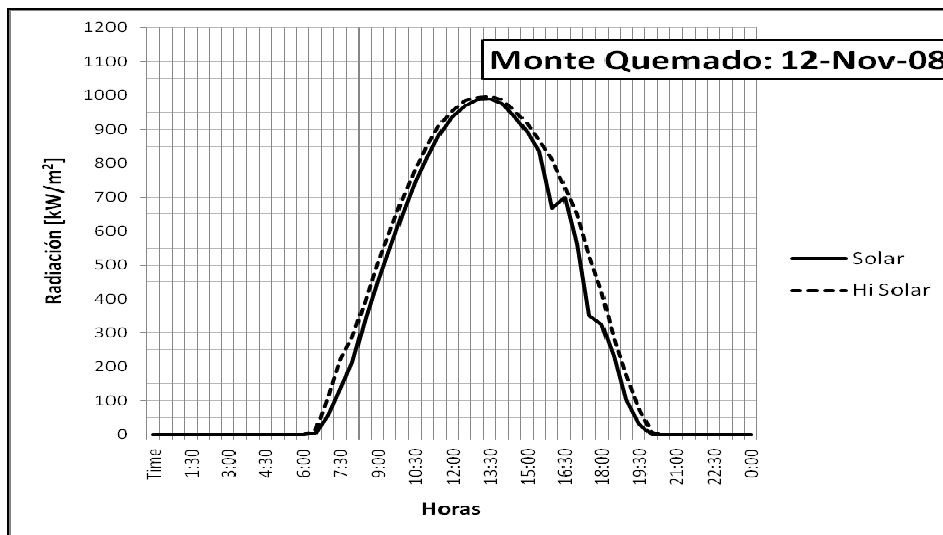


Figura 7: EM Monte Quemado

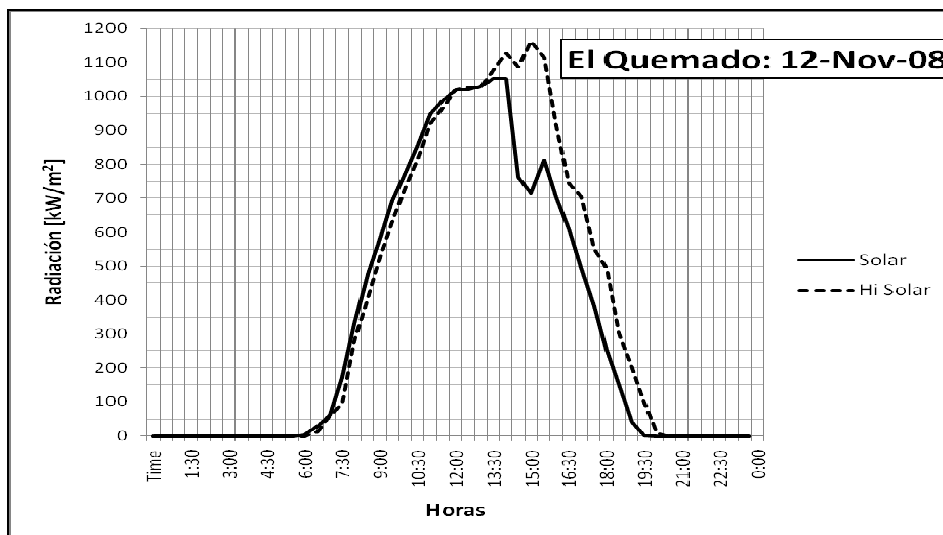


Figura 8: EM El Quemado

CONCLUSIONES

Es importante destacar que en nuestro país desde hace años que se está intentando organizar una Red Solarimétrica, con registros continuos de radiaciones, mediante distintos planes o acciones que luego, lamentablemente, se interrumpieron con el tiempo. En Santiago del Estero, por efecto de la acción conjunta interinstitucional Universidad Nacional – INTA, se ha pasado de una ausencia provincial de registros solarimétrico continuo a nueve localidades con mediciones de heliofania, radiación solar global, radiación UV, velocidad y dirección de vientos, y otros registros de uso agrometeorológico, tales como temperatura, lluvia, etc., con el objetivo fundamental de que estos registros se sigan realizando con el transcurso del tiempo a efectos que los parámetros obtenidos sirvan para uso estadístico.

ABSTRACT: This paper analyzes local activities designed to track the distribution of solar radiation, with adequate resolution, in the province of Santiago del Estero. To do this, and as part of a research project carried out between several universities in the North, the purchase and installation of automatic weather stations was made in nine (9) parts of the province, some of them financed with project funds and other through agreements.

Keywords: solarimetric measurements, heliophany, pyranograph, pyranometer, agrometeorology.

BIBLIOGRAFÍA

Grossi Gallegos Hugo, "Notas sobre radiación solar", Universidad Nacional de Luján, 2002.
 Díez Pedro Fernández, "Procesos Termosolares en Baja, Media y Alta Temperatura", Universidad de Cantabria.
 Especificaciones técnicas de instrumentos meteorológicos: Davis Instruments – Vantage Pro2 – www.davisnet.com.