

Informe de Radiación Solar en la provincia de Santa Fe

Santa Fe, Octubre de 2018

1. INTRODUCCIÓN¹

Las fuentes convencionales de energía, que aún hoy siguen abasteciendo la mayor parte del consumo energético mundial, son las principales causantes de los cambios climáticos debidos a la emisión de gases que provocan el efecto invernadero. Sin embargo, se está tomando conciencia de la necesidad de cambiar la matriz energética mundial, utilizando las energías renovables que hay disponibles para su aprovechamiento. Se puede mencionar en este sentido a la Provincia de Santa Fe como una de las pioneras en comenzar a fomentar el uso de la energía fotovoltaica en instituciones tales como escuelas rurales del norte de la Provincia.

En la actualidad, el Gobierno de la Provincia de Santa Fe tiene interés en sumar las energías renovables a la matriz energética provincial. En este sentido, la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia, a través de la Subsecretaría de Energías Renovables (SSER), busca conocer con mayor precisión qué potencia de radiación solar llega a las distintas zonas del territorio santafesino. Con esos datos se pretende analizar si el recurso solar es aprovechable para generar electricidad, ya sea en forma directa por medio de paneles solares (energía fotovoltaica), o en forma indirecta a través de calentar algún fluido (energía solar térmica). Conocer esos datos posibilitará que cualquier empresa que quiera producir energía solar en Santa Fe sepa anticipadamente con qué recursos cuenta, ya que el tiempo de repago de la inversión dependerá de cuánta energía pueda producir.

El éxito de cualquier proyecto de aprovechamiento de la energía solar depende fuertemente de la disponibilidad de radiación solar en esa ubicación, haciendo que el conocimiento del recurso solar sea un dato crítico para la elección del emplazamiento y el planeamiento de la instalación. Con el fin de medir la radiación solar en su territorio, la Provincia de Santa Fe ha instalado una “Red Solarimétrica”.

¹ El presente informe fue realizado por FIQ – IFIS-Litoral, UNL – CONICET y el GRUPO DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES, en el marco de un convenio con la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe.

Dicha red está emplazada en cinco ubicaciones o sitios de la provincia, específicamente en Estaciones Transformadoras (EETT) de la Empresa Provincial de la Energía (EPE), que a tales fines fueron seleccionadas para cubrir la medición en todo el territorio santafesino. Las localidades elegidas fueron las siguientes:

- 1) Tostado (Departamento 9 de Julio);
- 2) Reconquista (Departamento General Obligado);
- 3) Elisa (Departamento Las Colonias);
- 4) Cañada Rosquín (Departamento San Martín);
- 5) Firmat (Departamento General López).-

De este modo se cubre una buena porción del territorio, lo que permite evaluar cuál es la densidad de potencia que llega a cada zona. Esta red proveerá a los diseñadores de sistemas de aprovechamiento de la energía solar, arquitectos, ingenieros, analistas de energías renovables y público interesado de amplia información sobre la radiación solar.

2. DATOS DIARIOS PARA MESES REPRESENTATIVOS

2.1 Radiación Solar Diaria

En las Figuras 1 a 4 se presenta la radiación solar global diaria en el plano horizontal, medida en unidades de kWh/m²/día, para la localidad de Tostado en los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre de 2015.

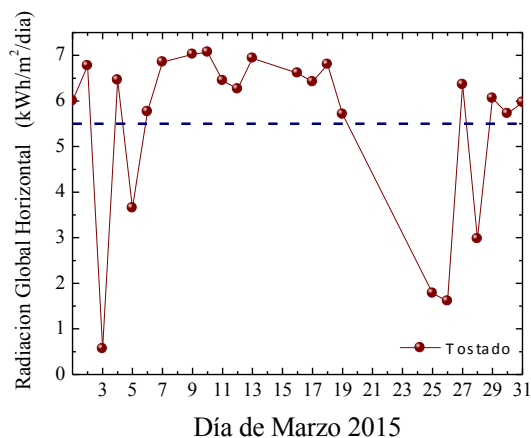


Figura 1: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Marzo de 2015 en la localidad de Tostado. La línea horizontal indica el promedio mensual.

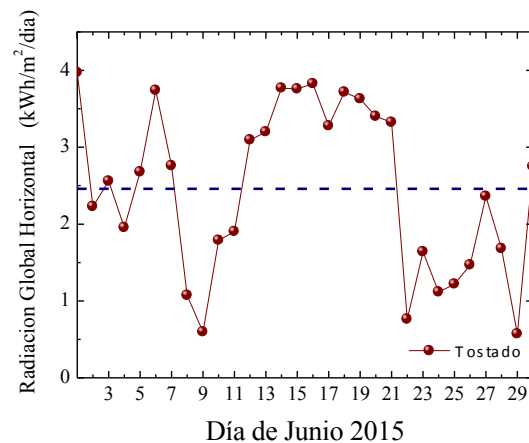


Figura 2: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Junio de 2015 en la localidad de Tostado. La línea horizontal indica el promedio mensual.

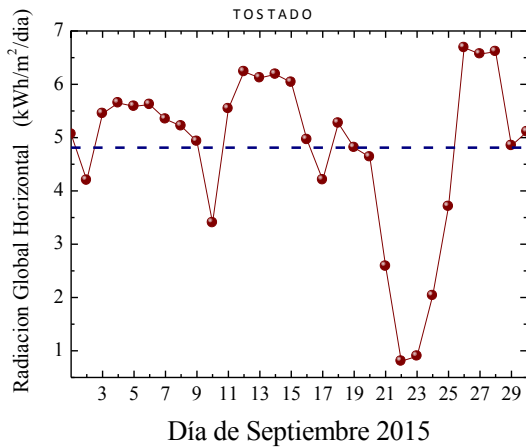


Figura 3: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Septiembre de 2015 en la localidad de Tostado. La línea horizontal indica el promedio mensual.

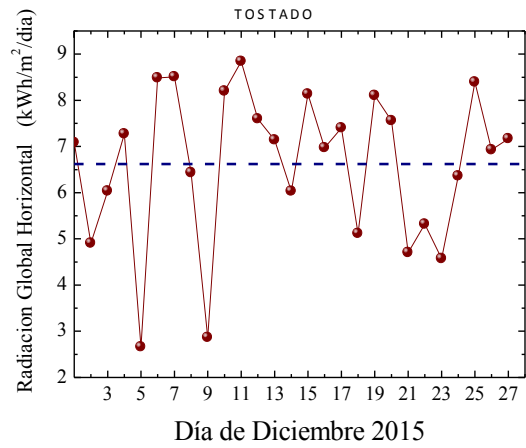


Figura 4: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Diciembre de 2015 en la localidad de Tostado. La línea horizontal indica el promedio mensual..

En las Figuras 5 a 8 se presenta la radiación solar global diaria en el plano horizontal, medida en unidades de kWh/m²/día, para la localidad de Reconquista en los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre de 2015.

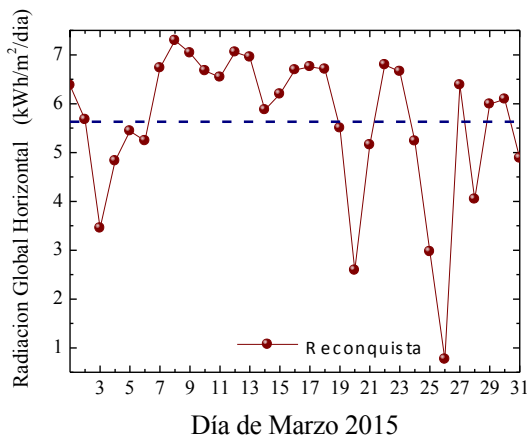


Figura 5: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Marzo de 2015 en la localidad de Reconquista. La línea horizontal indica el promedio mensual.

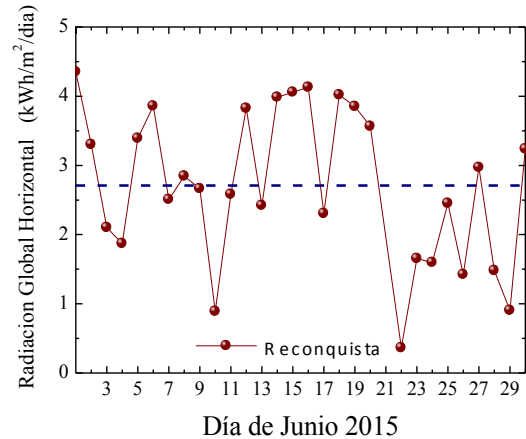


Figura 6: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Junio de 2015 en la localidad de Reconquista. La línea horizontal indica el promedio mensual.

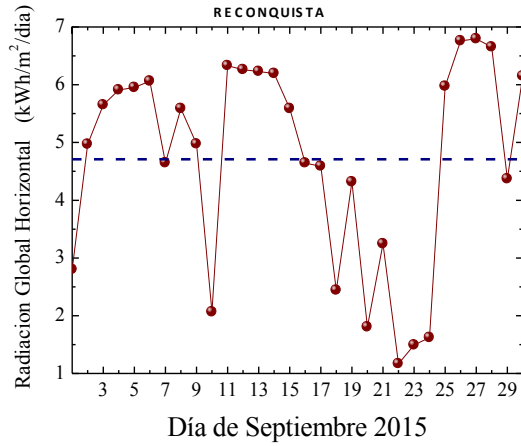


Figura 7: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Septiembre de 2015 en la localidad de Reconquista. La línea horizontal indica el promedio mensual.

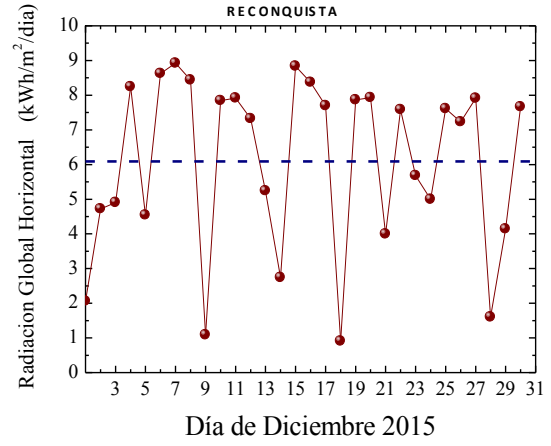


Figura 8: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Diciembre de 2015 en la localidad de Reconquista. La línea horizontal indica el promedio mensual..

En las Figuras 9 a 12 se presenta la radiación solar global diaria en el plano horizontal, medida en unidades de kWh/m²/día, para la localidad de Elisa en los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre de 2015.

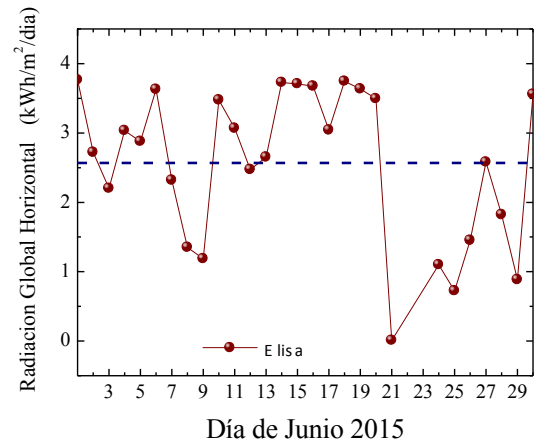
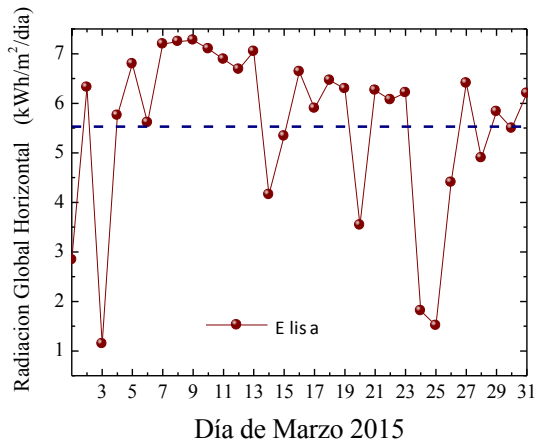


Figura 9: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Marzo de 2015 en la localidad de Elisa. La línea horizontal indica el promedio mensual.

Figura 10: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Junio de 2015 en la localidad de Elisa. La línea horizontal indica el promedio mensual.

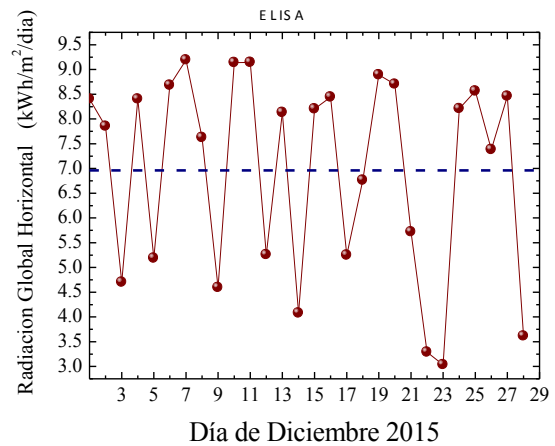
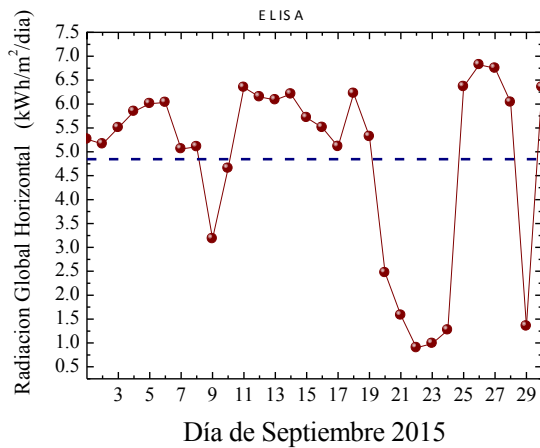


Figura 11: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Septiembre de 2015 en la localidad de Elisa. La línea horizontal indica el promedio mensual.

Figura 12: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Diciembre de 2015 en la localidad de Elisa. La línea horizontal indica el promedio mensual..

En las Figuras 13 a 16 se presenta la radiación solar global diaria en el plano horizontal, medida en unidades de kWh/m²/día, para la localidad de Cañada Rosquín en los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre de 2015.

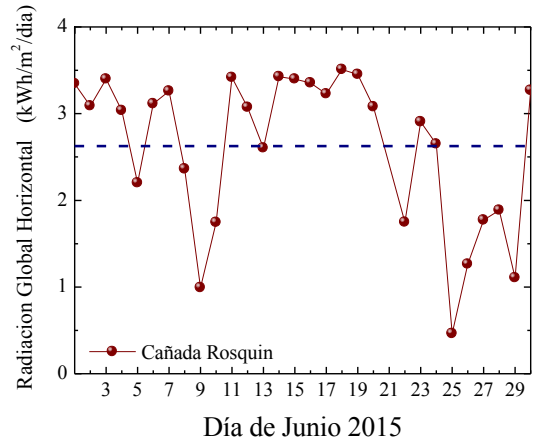
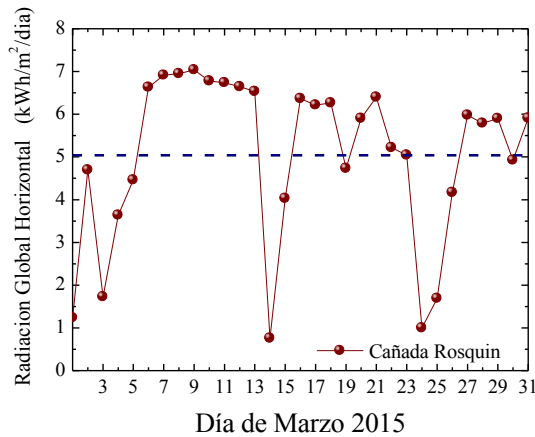


Figura 13: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Marzo de 2015 en la localidad de Cañada Rosquín. La línea horizontal indica el promedio mensual.

Figura 14: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Junio de 2015 en la localidad de Cañada Rosquín. La línea horizontal indica el promedio mensual.

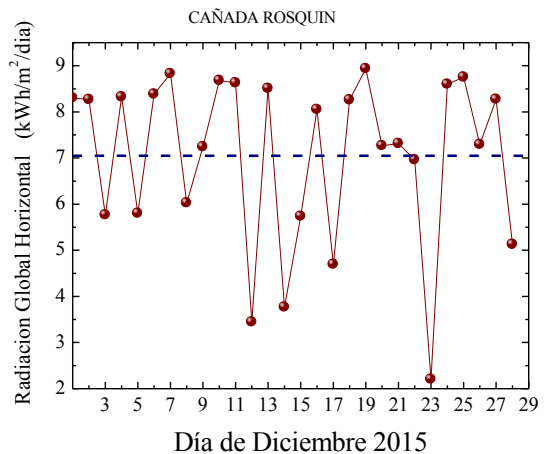
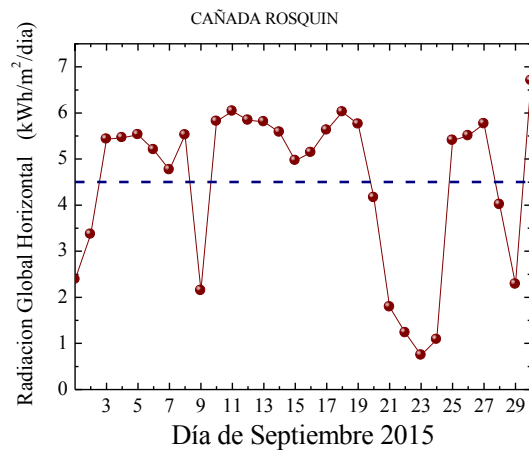


Figura 15: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Septiembre de 2015 en la localidad de Cañada Rosquín. La línea horizontal indica el promedio mensual.

Figura 16: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Diciembre de 2015 en la localidad de Cañada Rosquín. La línea horizontal indica el promedio mensual..

En las Figuras 17 a 20 se presenta la radiación solar global diaria en el plano horizontal, medida en unidades de kWh/m²/día, para la localidad de Firmat en los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre de 2015.

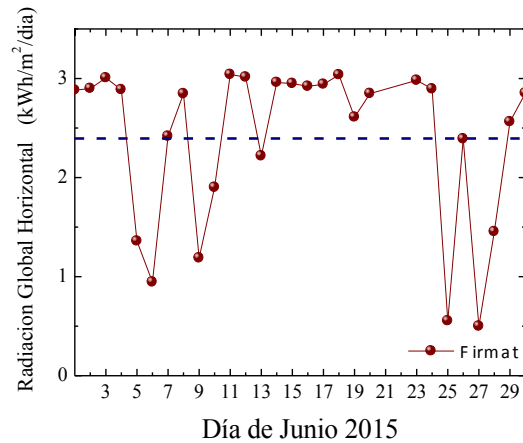
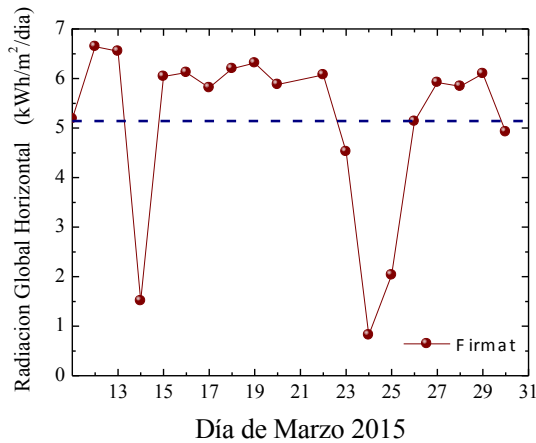


Figura 17: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Marzo de 2015 en la localidad de Firmat. La línea horizontal indica el promedio mensual.

Figura 18: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Junio de 2015 en la localidad de Firmat. La línea horizontal indica el promedio mensual.

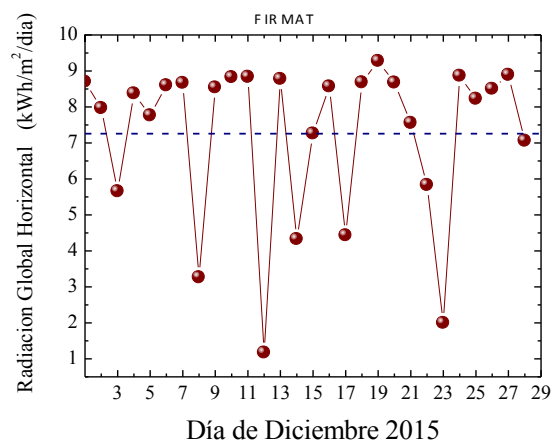
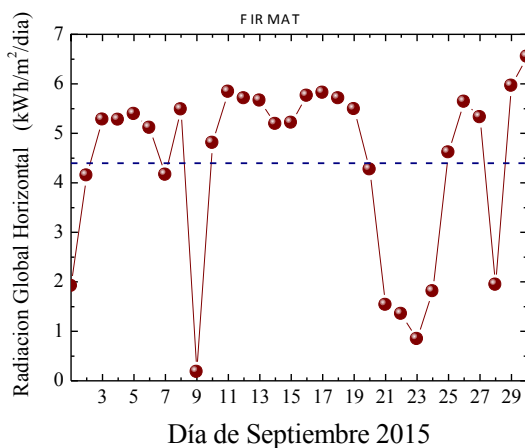


Figura 19: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Septiembre de 2015 en la localidad de Firmat. La línea horizontal indica el promedio mensual.

Figura 20: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Diciembre de 2015 en la localidad de Firmat. La línea horizontal indica el promedio mensual..

3. PROMEDIOS MENSUALES

3.1 Radiación Global en el plano horizontal

A continuación se presentan los gráficos con los promedios mensuales de radiación global en el plano horizontal, medida en unidades de kWh/m²/día, para cada una de las cinco localidades. La línea horizontal indica el promedio anual.

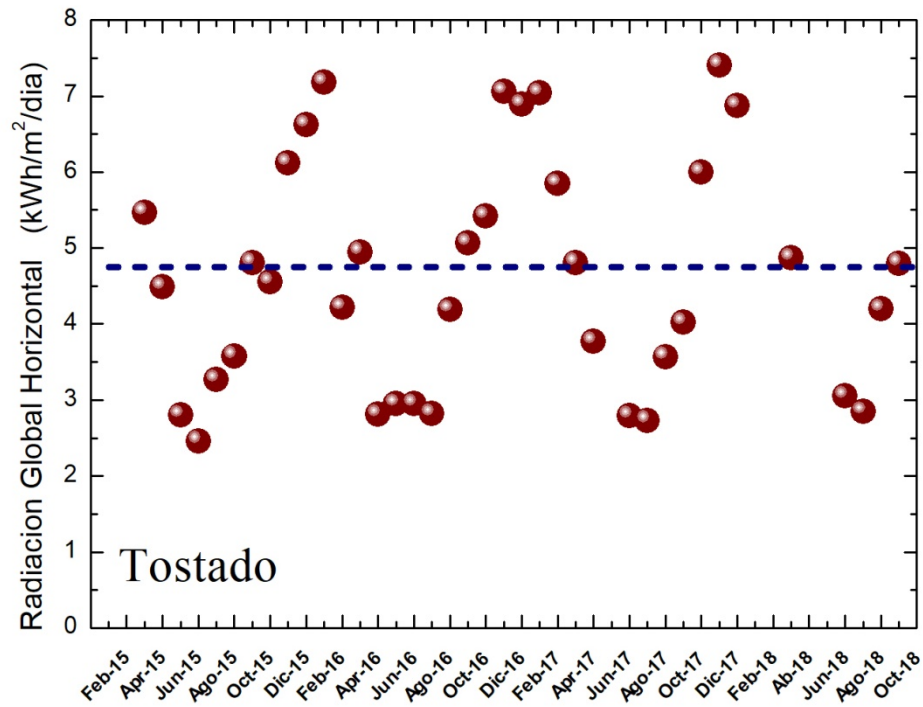


Figura 21: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Tostado. La línea horizontal es el promedio anual.

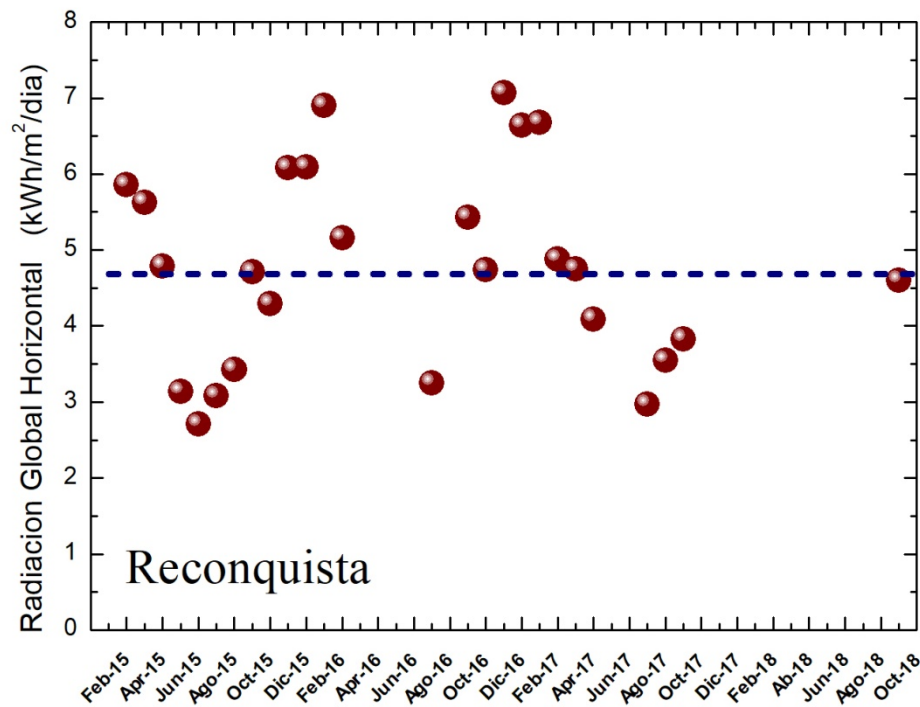


Figura 22: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Reconquista. La línea horizontal es el promedio anual.

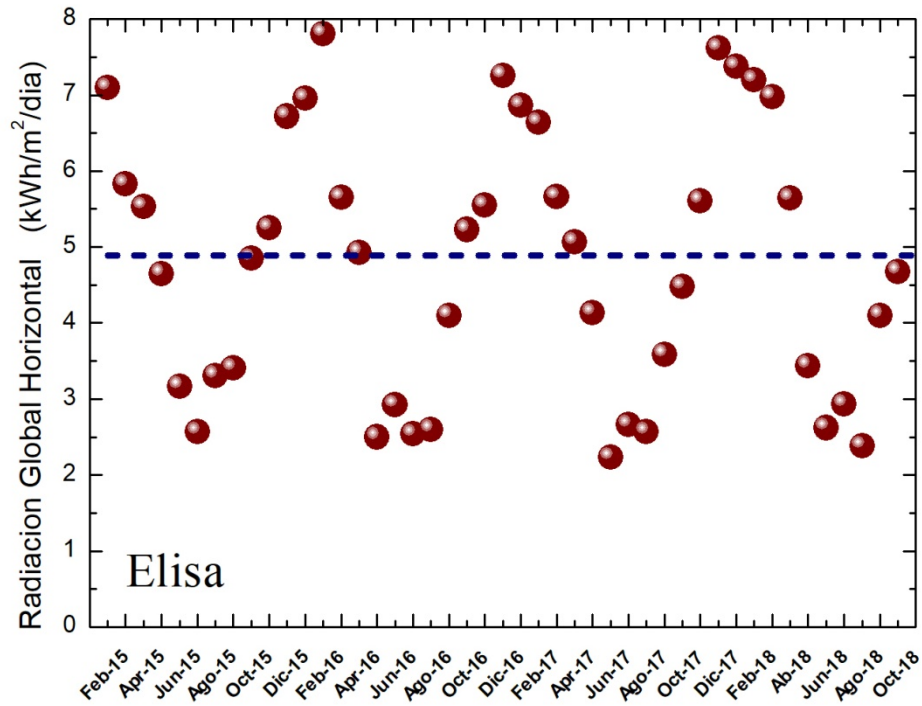


Figura 23: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Elisa. La línea horizontal es el promedio anual.

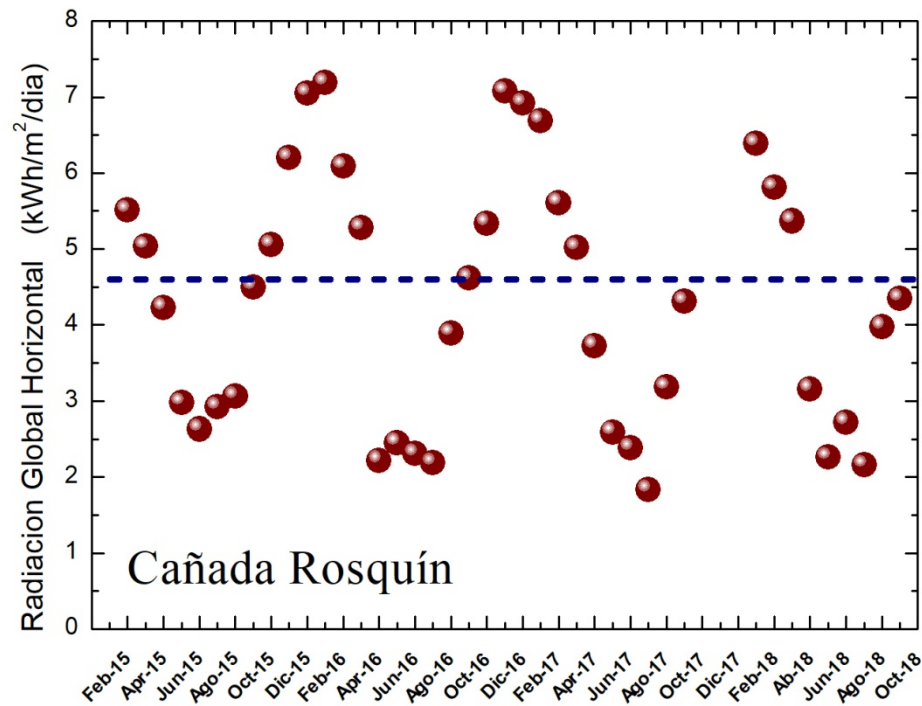


Figura 24: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Cañada Rosquín. La línea horizontal es el promedio anual.

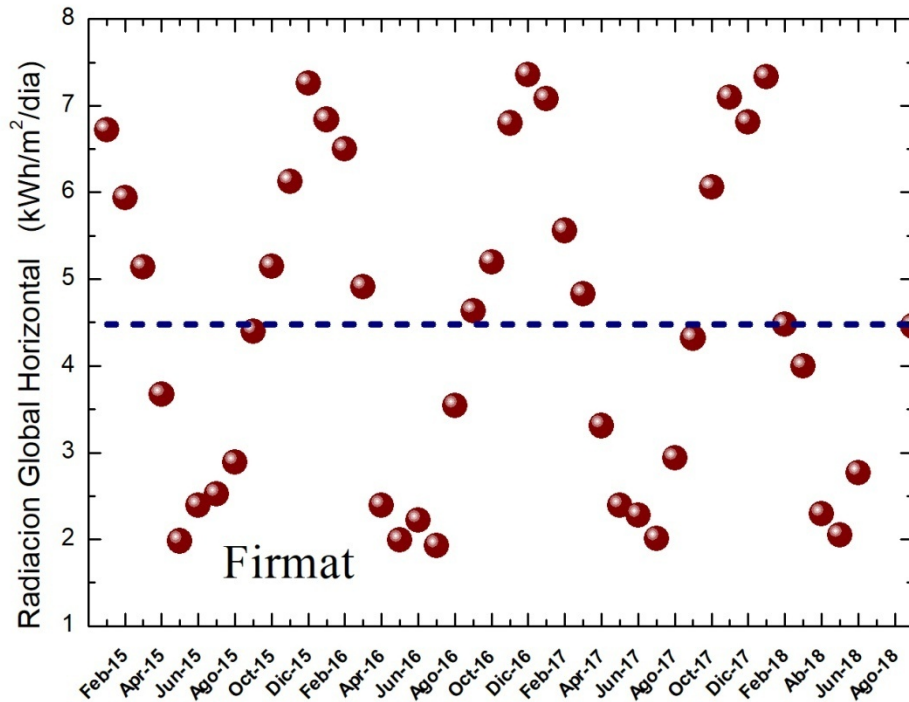


Figura 25: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Firmat. La línea horizontal es el promedio anual.

3.2 Temperatura Ambiente

A continuación se presentan los gráficos con los promedios mensuales de temperatura ambiente, medida en unidades de grados centígrados, para cada una de las cinco localidades. El comportamiento es el esperado, observándose un máximo de temperatura para el mes de Enero y un mínimo para los meses de Junio-Julio.

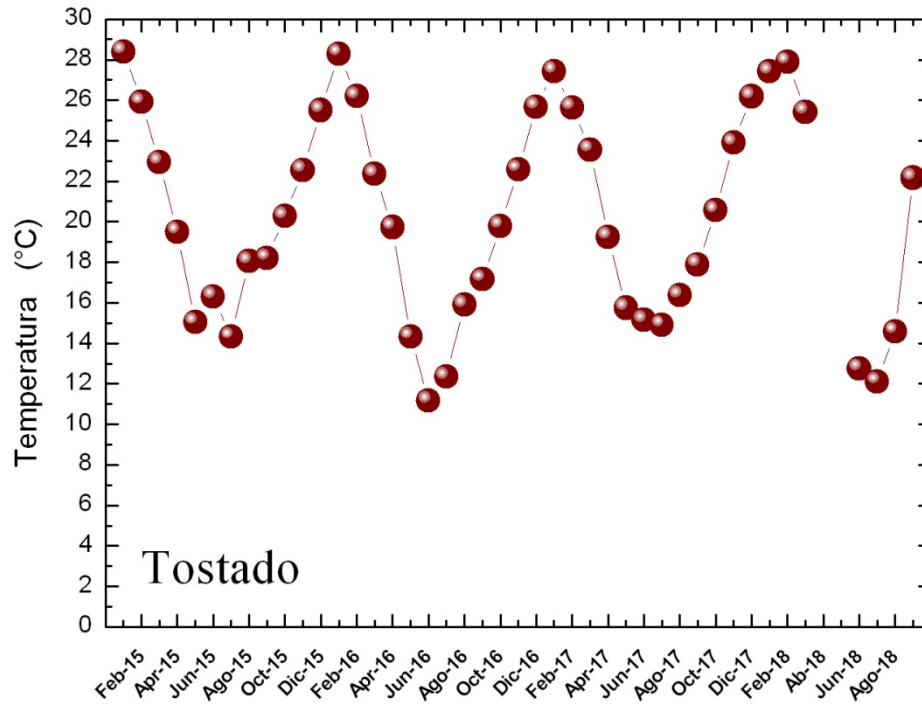


Figura 26: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Tostado.

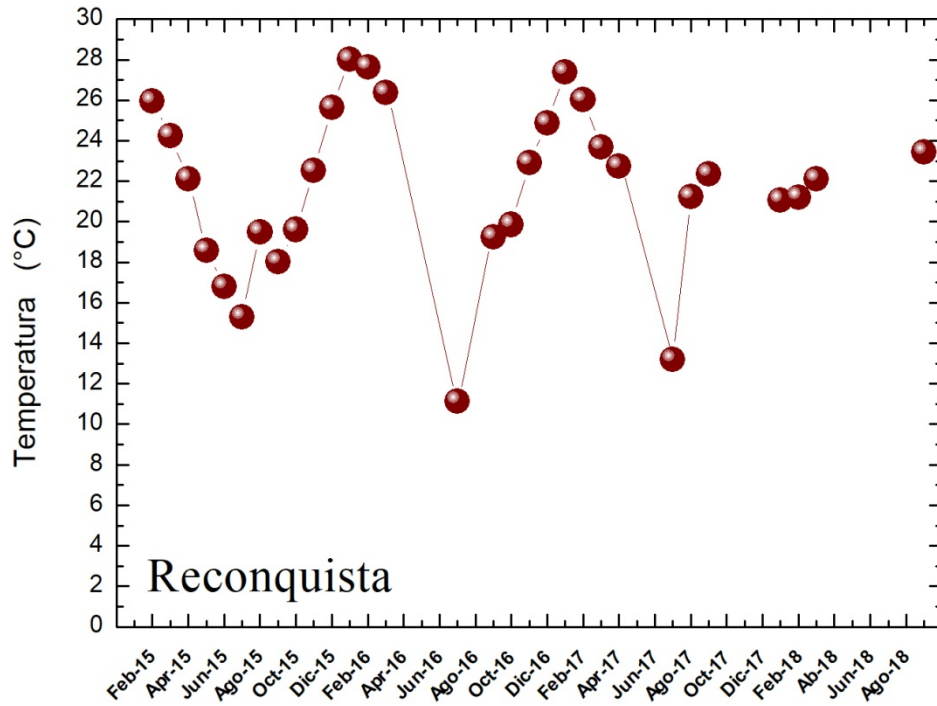


Figura 27: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Reconquista.

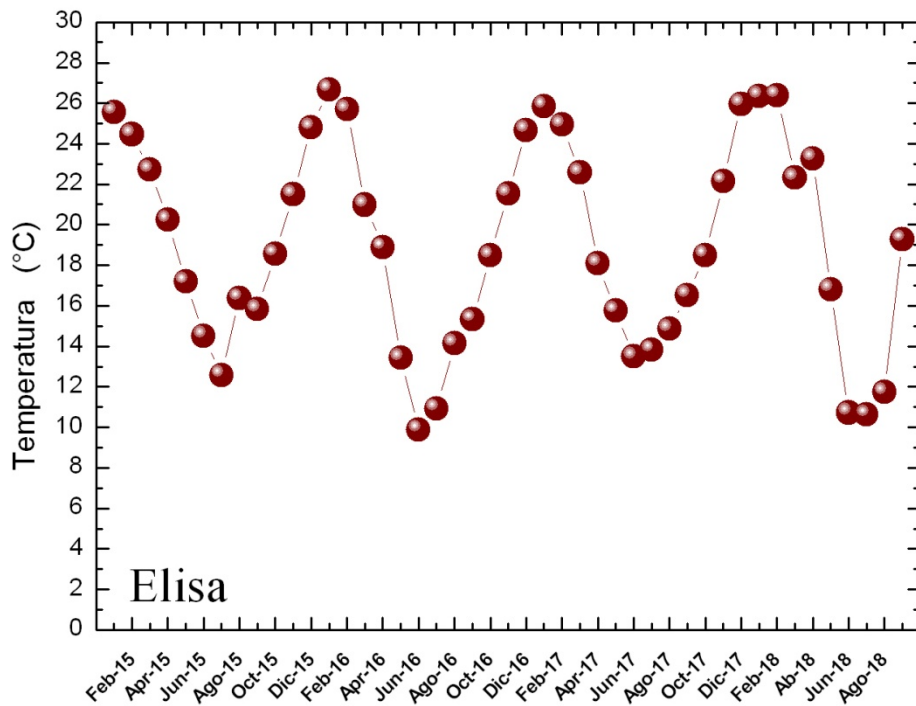


Figura 28: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Elisa.

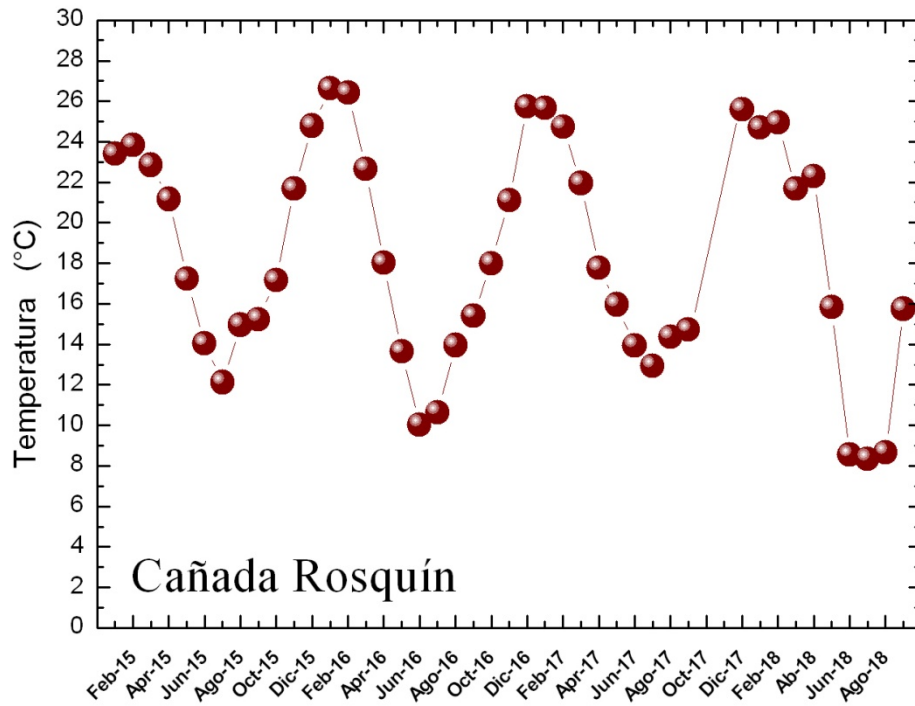


Figura 29: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Cañada Rosquín.

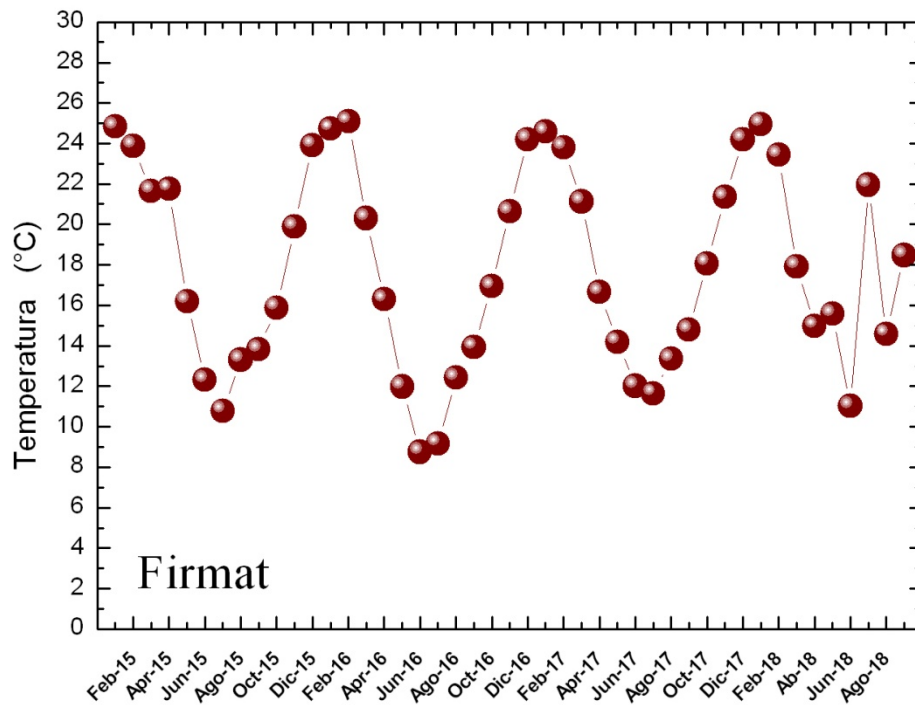


Figura 30: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Firmat.

3.3 Humedad Ambiente

A continuación se presentan los gráficos con los promedios mensuales de humedad relativa ambiente, medida en porcentaje, para cada una de las cinco localidades.

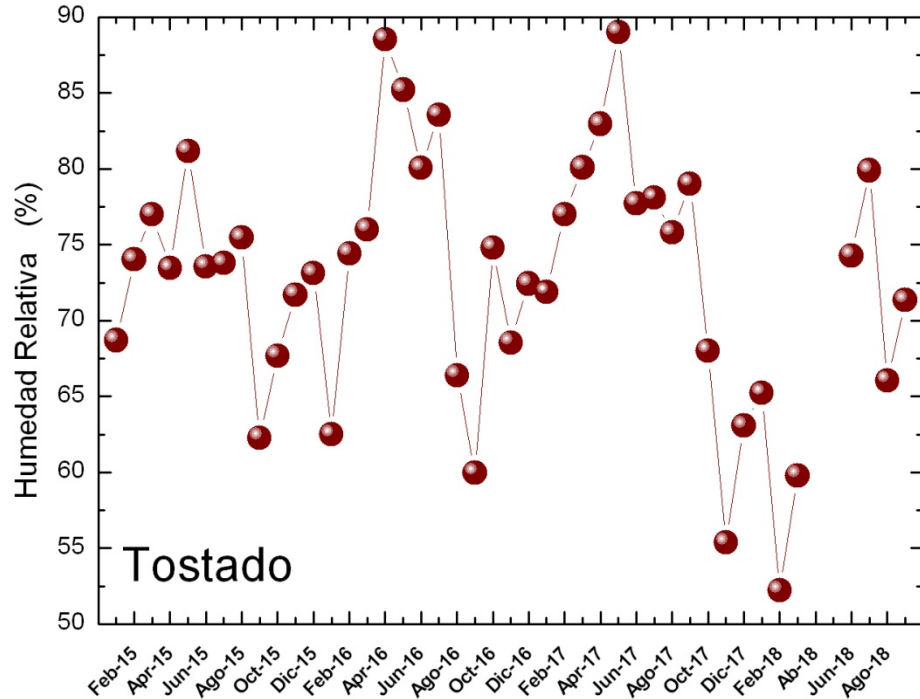


Figura 31: Promedio mensual de la humedad relativa ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Tostado.

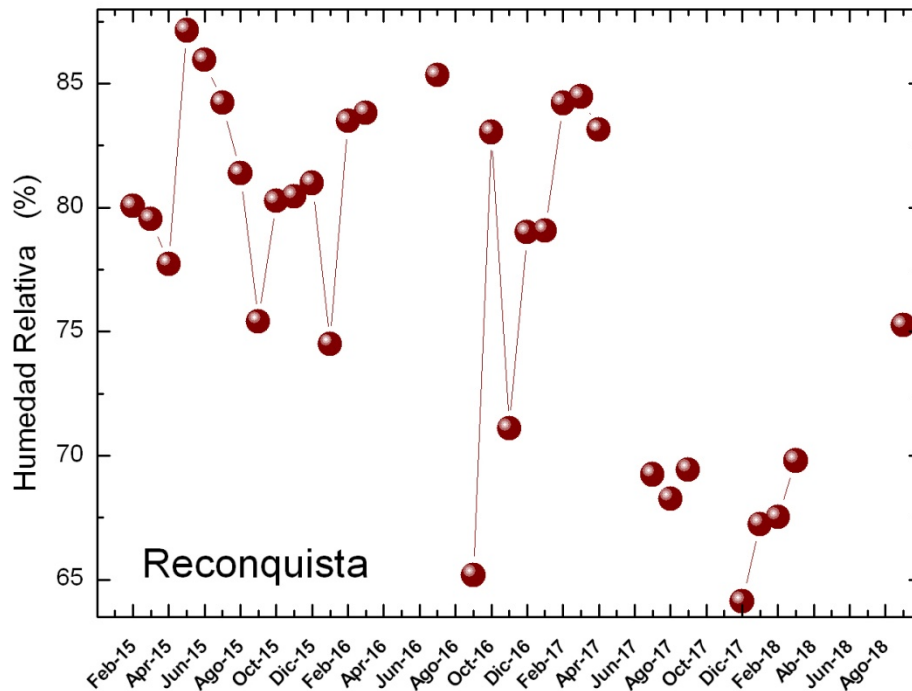


Figura 32: Promedio mensual de la humedad relativa ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Reconquista.

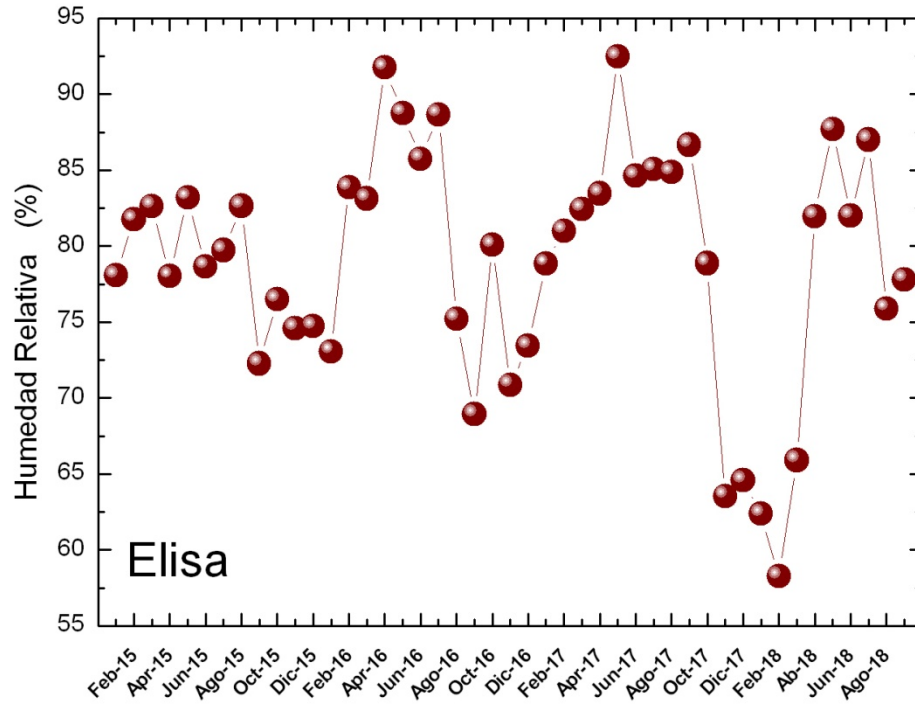


Figura 33: Promedio mensual de la humedad relativa ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Elisa.

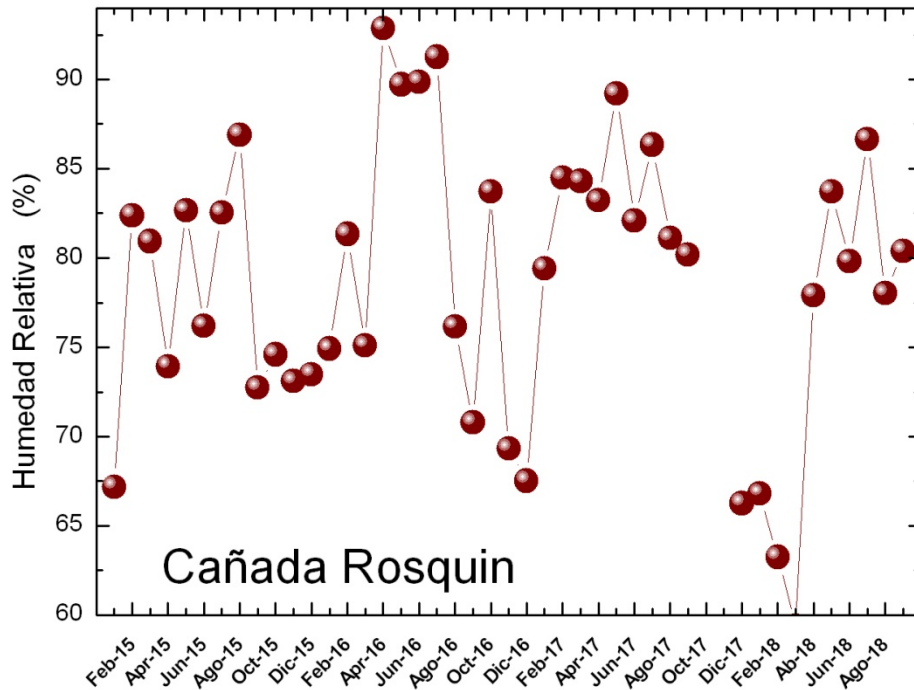


Figura 34: Promedio mensual de la humedad relativa ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Cañada Rosquín.

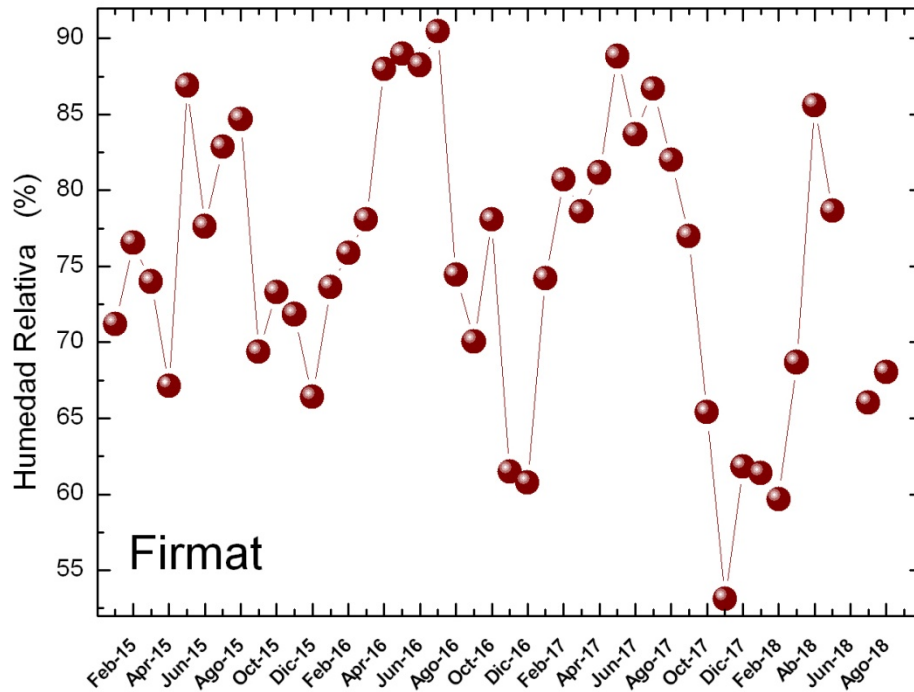


Figura 35: Promedio mensual de la humedad relativa ambiente diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Fírmata.

3.4 Presión Atmosférica

A continuación se presentan los gráficos con los promedios mensuales de presión atmosférica, medida en unidades de hectopascales, para cada una de las cinco localidades.

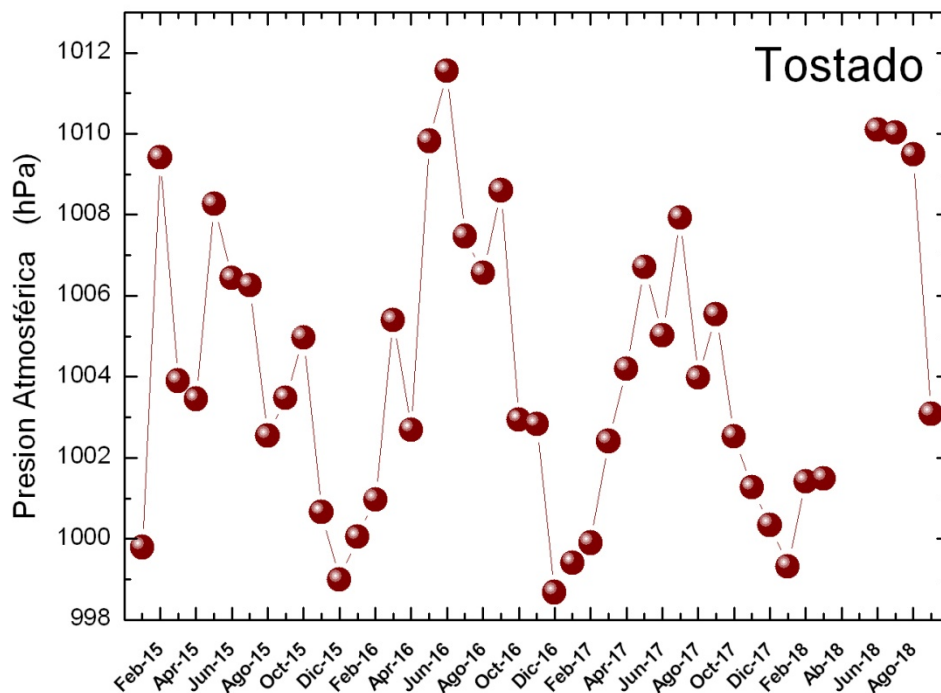


Figura 36: Promedio mensual de la presión atmosférica diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Tostado.

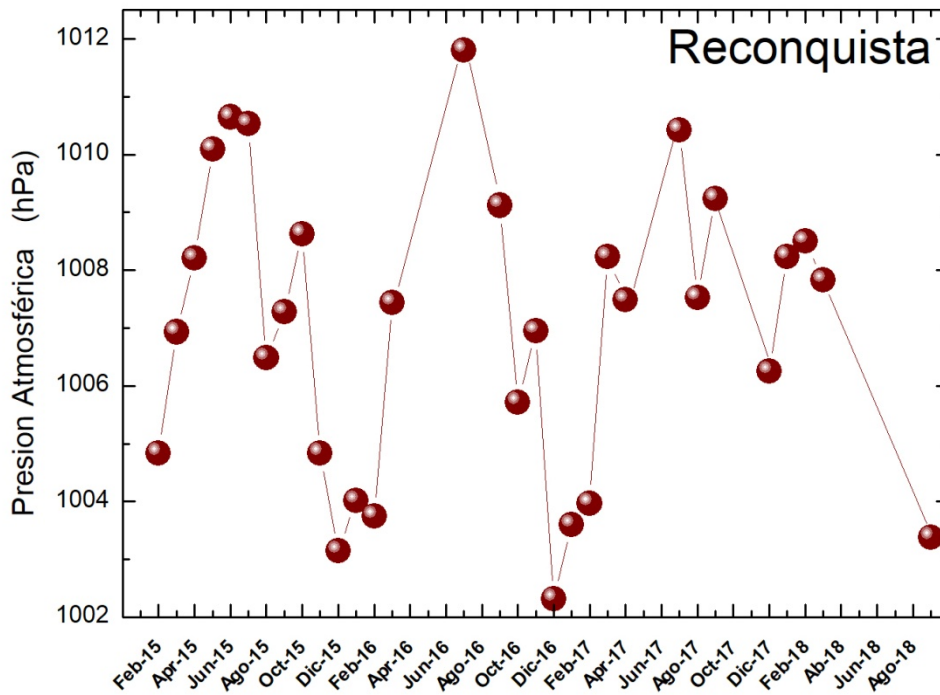


Figura 37: Promedio mensual de la presión atmosférica diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Reconquista.

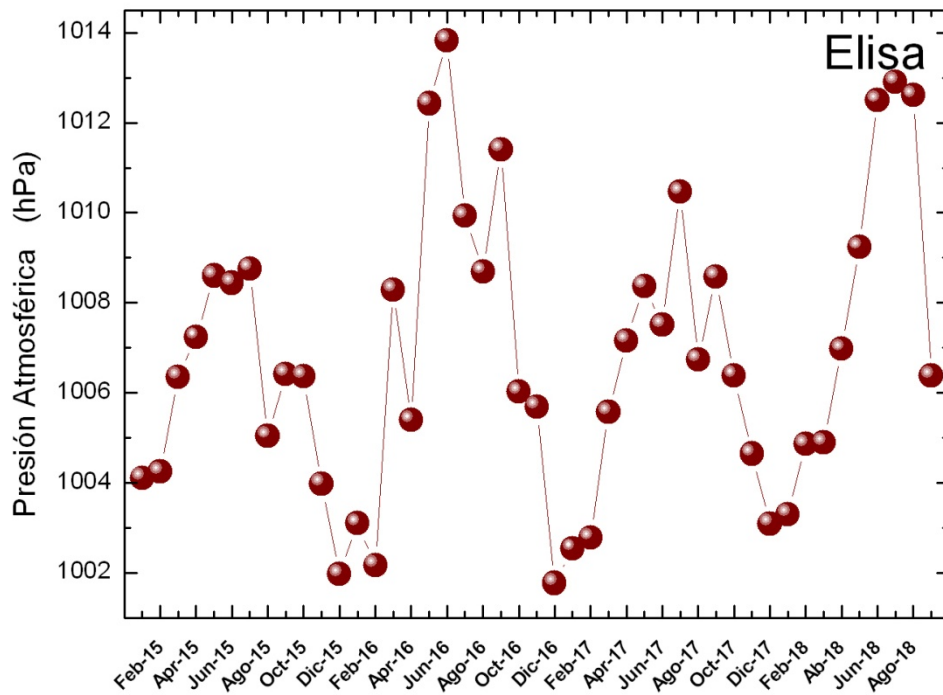


Figura 38: Promedio mensual de la presión atmosférica diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Elisa.

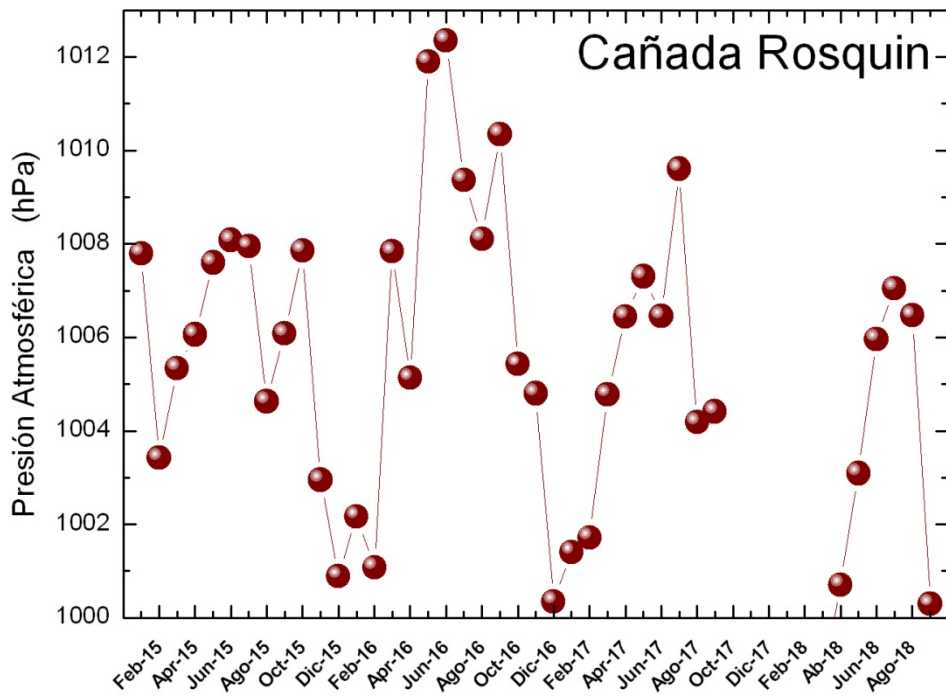


Figura 39: Promedio mensual de la presión atmosférica diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Cañada Rosquín.

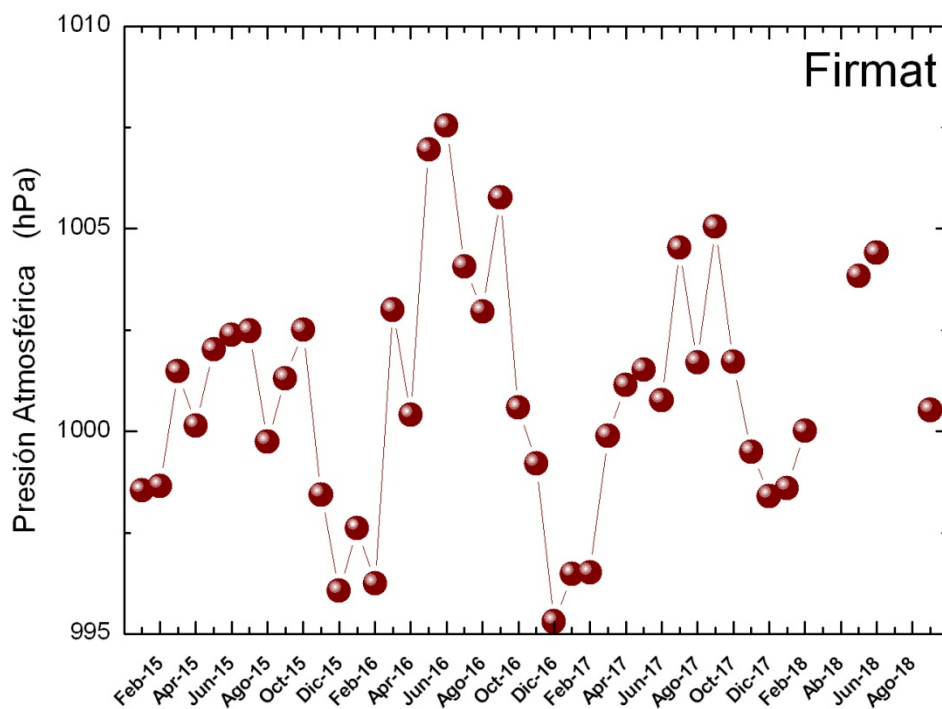


Figura 40: Promedio mensual de la presión atmosférica diaria en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Firmat.

3.5 Dirección y Velocidad del Viento

A continuación se presenta el promedio mensual de la dirección y velocidad del viento medida en las cinco estaciones de la Red. La velocidad del viento es proporcional al largo de las barras, y se mide en metros/segundo. La dirección de la barra es la dirección desde la que sopla el viento. Para la mayoría de las estaciones de la Red la dirección predominante es Sureste, con velocidades promedio que en general no superan los 7 km/h. Sin embargo, si nos fijamos día por día las direcciones son bastante variables.

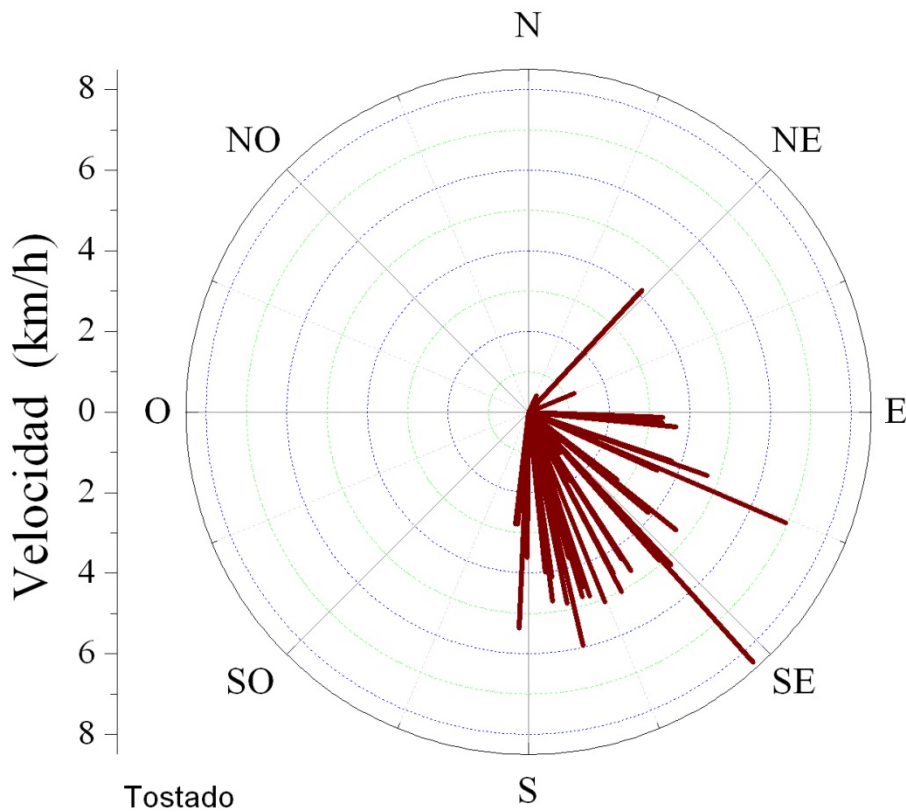


Figura 41: Promedio mensual de dirección y velocidad del viento en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Tostado.

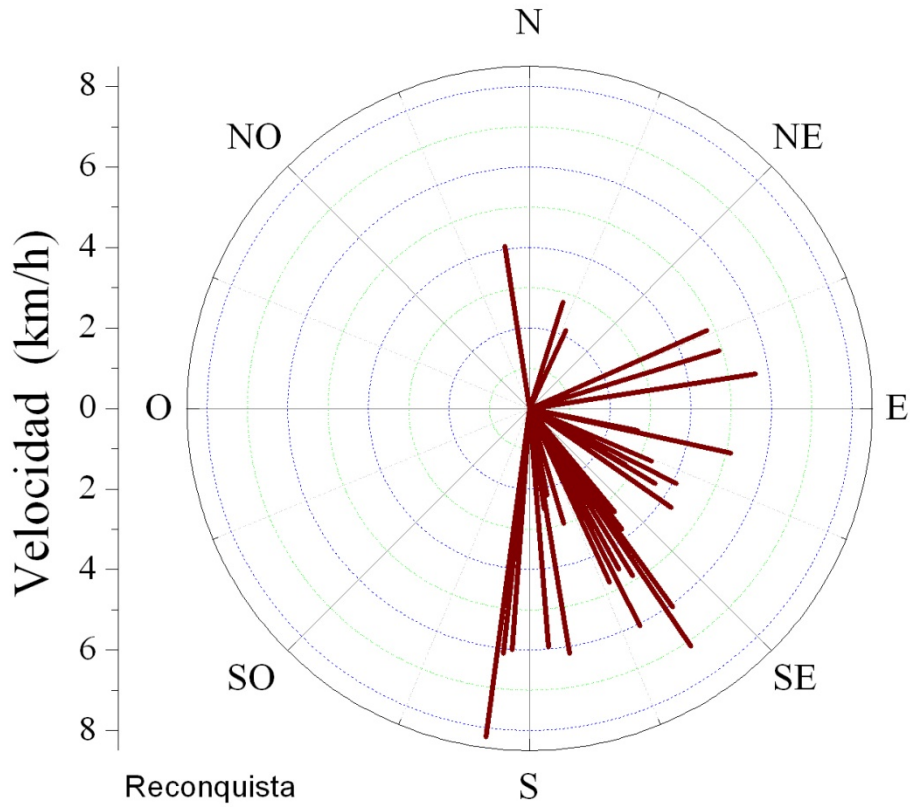


Figura 42: Promedio mensual de dirección y velocidad del viento en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Reconquista.

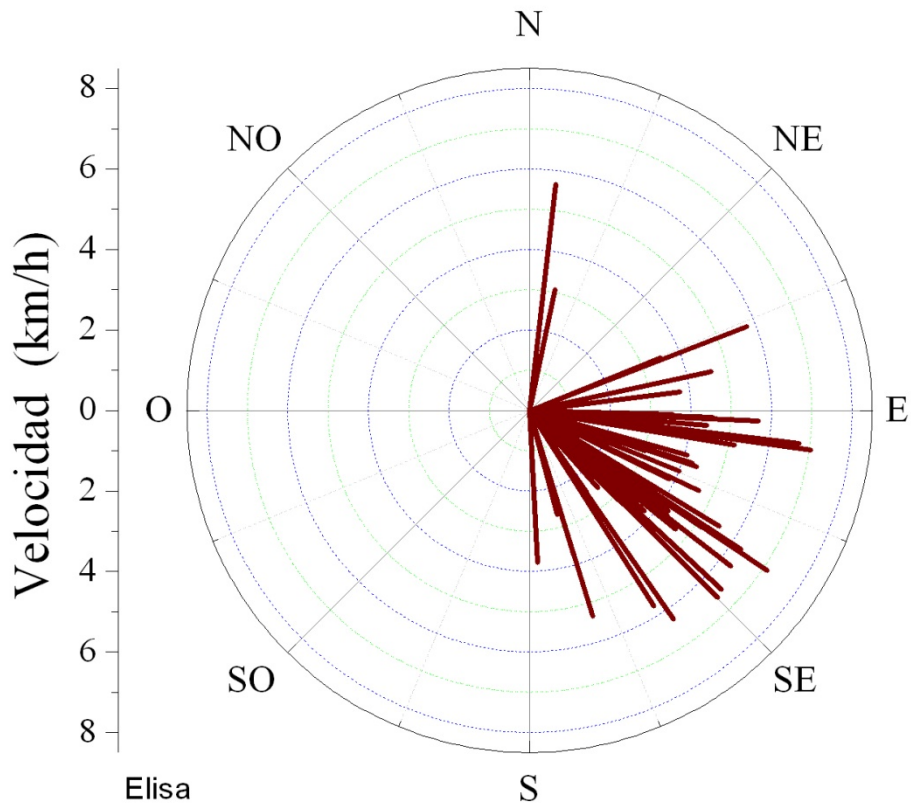


Figura 43: Promedio mensual de dirección y velocidad del viento en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Elisa.

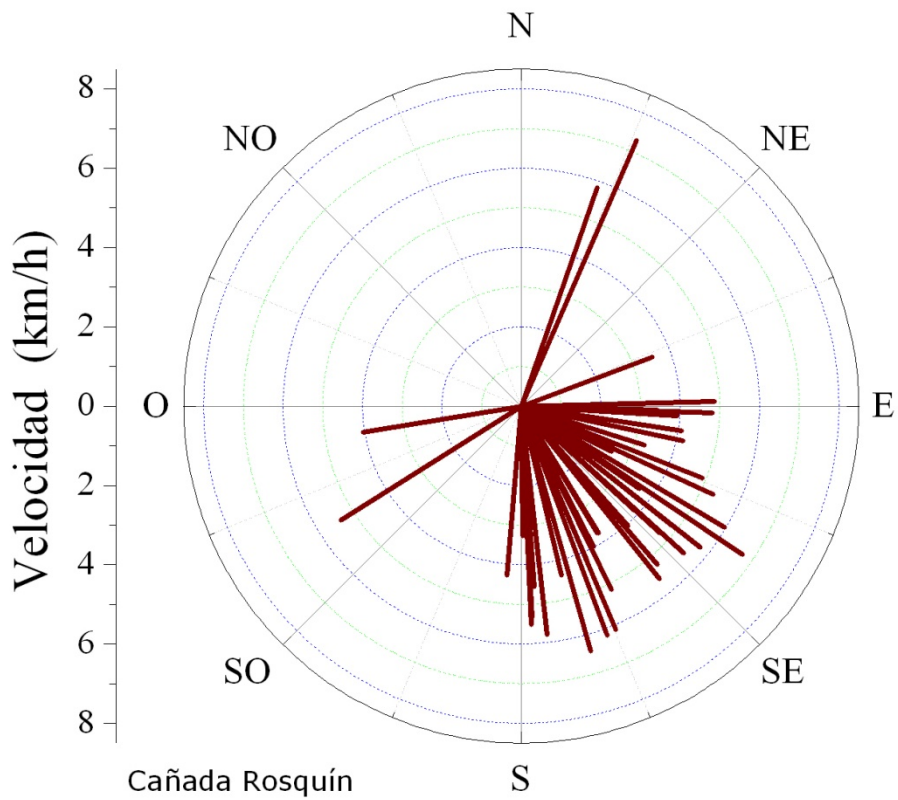


Figura 44: Promedio mensual de dirección y velocidad del viento en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Cañada Rosquín.

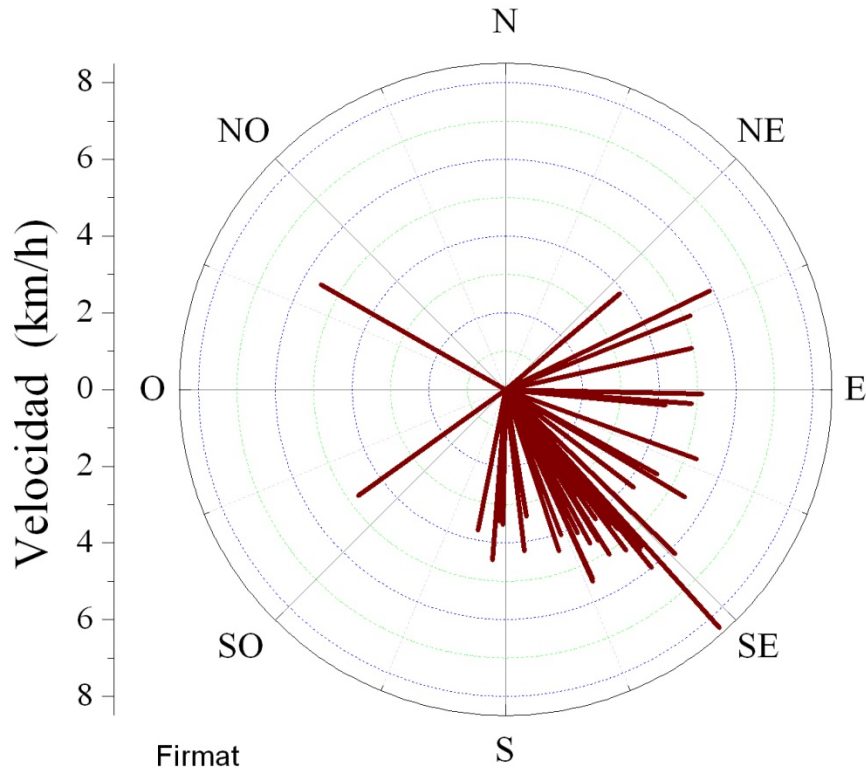


Figura 45: Promedio mensual de dirección y velocidad del viento en lo que va de funcionamiento de la Red Solarimétrica para la localidad de Firmat.

4. MAPAS DE INSOLACION DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

A partir de los datos de radiación global en el plano horizontal, tanto medidos mediante la Red Solarimétrica como provistos por la NASA, se elaboraron los siguientes mapas del recurso solar. Se utilizaron también datos reportados por la NASA porque la diferencia con lo registrado hasta el momento en la Red Solarimétrica está dentro de lo razonable; además los datos de la NASA están dados con intervalos de 1 grado de latitud y longitud, lo que permite dibujar una grilla más fina. Se presentan tres situaciones, correspondientes a los meses de Enero (mes de mayor insolación), Junio (mes de menor insolación) y promedio anual.

Insolacion media Enero (kWh/m²/dia)

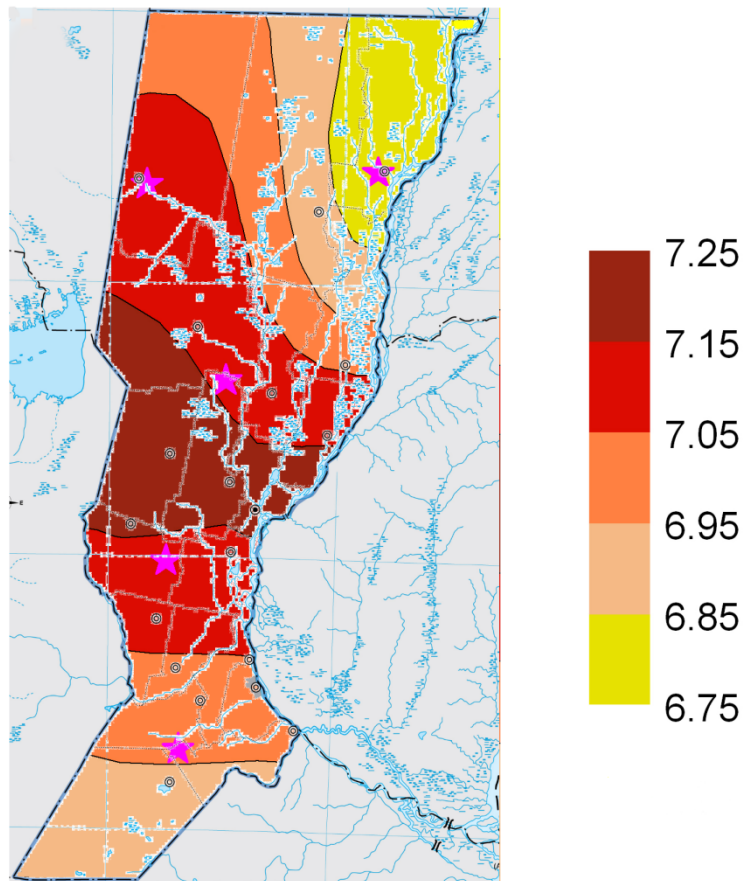


Figura 46: Insolación media diaria, medida en kWh/m²/dia, para el mes de Enero.

En la Figura 46 se observa la insolación media para el mes de Enero. Se puede apreciar que, para la localidad de Reconquista, la insolación media del mes de Enero se encuentra entre 6,75 y 6,85 kWh/m²/dia; para Firmat está entre 6,95 y 7,05 kWh/m²/dia; mientras que para Tostado, Elisa y Cañada Rosquín está entre 7,05 y 7,15 kWh/m²/dia. En el centro de la Provincia se observa un máximo de entre 7,15 y 7,25 kWh/m²/dia.

Insolación media Junio (kWh/m²/día)

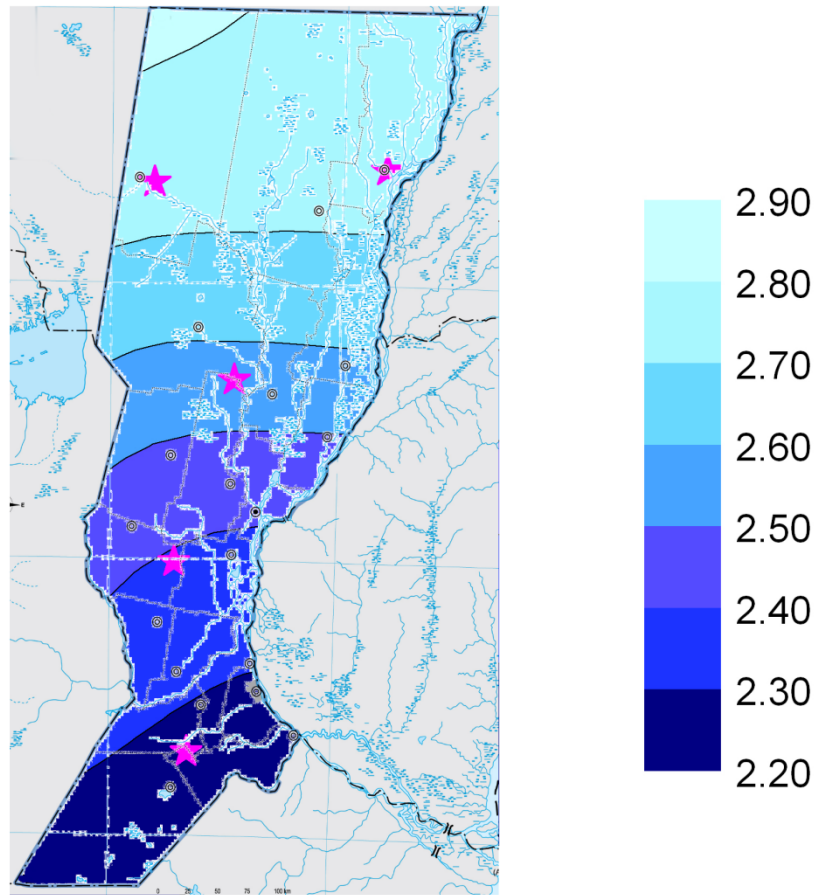


Figura 47: Insolación media diaria, medida en kWh/m²/día, para el mes de Junio.

En la Figura 47 se observa la situación para el mes de Junio, que es el de menor insolación. En el extremo noroeste de la Provincia se observa un máximo de entre 2,80 y 2,90 kWh/m²/día; en las localidades de Tostado y Reconquista la insolación media del mes de Junio se encuentra entre 2,70 y 2,80 kWh/m²/día; en la zona de Elisa está entre 2,50 y 2,60 kWh/m²/día; a la altura de Cañada Rosquín está entre 2,30 y 2,40 kWh/m²/día; mientras que para Firmat está entre 2,20 y 2,30 kWh/m²/día.

Insolación media anual (kWh/m²/día)

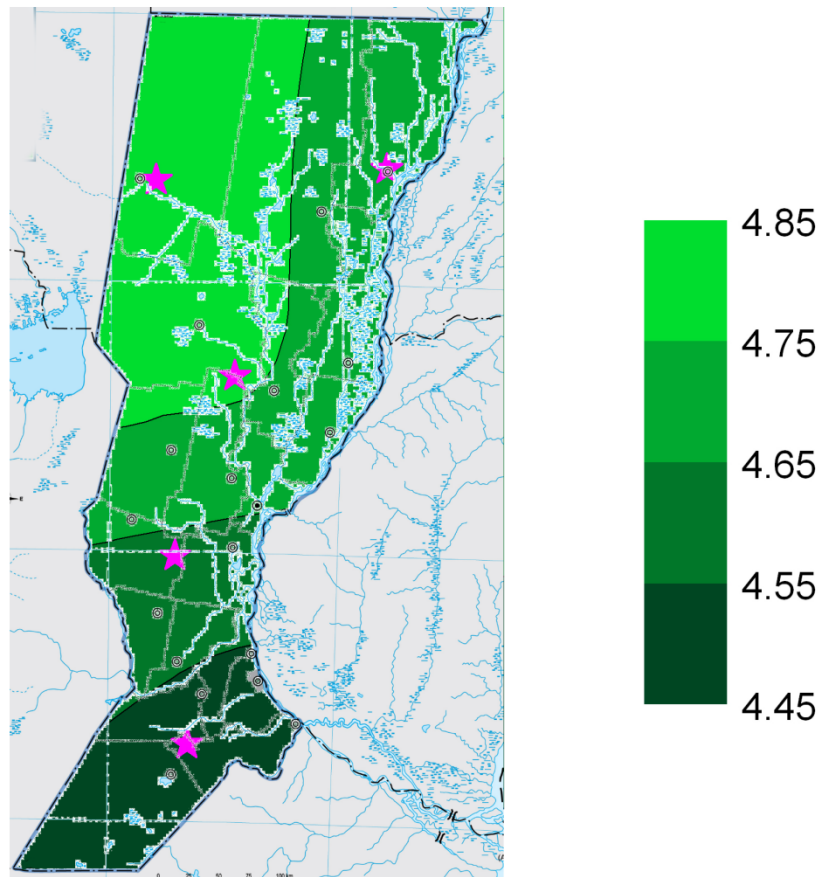


Figura 48: Promedio anual de la insolación media diaria, medida en kWh/m²/día.

Finalmente, en la Figura 48 se observa el mapa de la insolación media anual en la Provincia, que es el dato necesario para calcular la energía que puede aportar una central fotovoltaica. Aquí se observa un máximo en la zona noroeste, que abarca a las localidades de Tostado y Elisa, con valores de entre 4,75 y 4.85 kWh/m²/día. Parte del centro y del noreste de la Provincia, incluyendo la localidad de Reconquista, se encuentran en una zona de insolación media anual entre 4,65 y 4.75 kWh/m²/día. La zona centro-sur, incluyendo la localidad de Cañada Rosquín, está en una zona con valores entre 4,55 y 4.65 kWh/m²/día. Finalmente, el sur de la Provincia, incluyendo la localidad de Firmat, tiene valores entre 4,45 y 4.55 kWh/m²/día. De todas formas, la distribución es relativamente uniforme, con una variación entre los extremos menor al 10 %.

5. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA QUE PODRÍA GENERAR UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA EMPLAZADA EN DISTINTAS ZONAS DE LA PROVINCIA

A partir de los datos presentados anteriormente, brindamos un cálculo aproximado de la energía que podría generar una central fotovoltaica de 5 MWp (cinco megavatios pico) instalada en cada una de las cinco localidades donde se encuentran las estaciones de medición de la Red Solarimétrica, basando los cálculos en el recurso solar medido en la localidad y en las condiciones ambientales. Para este cálculo supondremos que las centrales fotovoltaicas son de iguales características entre sí, están orientadas según el ángulo óptimo para cada latitud y están conectadas a la red de media tensión. La elección de 5 MWp de potencia se debe a que en la Provincia existe un proyecto de instalar plantas fotovoltaicas de estas características.

La energía generada en corriente alterna durante un cierto período de tiempo por una central fotovoltaica viene dada por:

$$E_{AC}[kWh] = P_{STD}[W] \times \frac{G_H[kWh/m^2/dia] \times k}{1000[W/m^2]} \times PR[] \times t[dias] \quad (1)$$

donde

P_{STD} es la potencia instalada del generador fotovoltaico bajo condiciones estándar,

G_H es la irradiación global promedio diaria en el plano horizontal,

k es el factor de corrección para transformar la irradiación del plano horizontal al plano del panel,

PR es un factor de eficiencia adimensional que incluye valores fijos y variables, y

t es el período de tiempo sobre el cual se calcula la energía entregada.

La siguiente tabla resume los valores de radiación global en el plano horizontal obtenidos a partir de las mediciones de la Red Solarimétrica.

	TOSTADO	RECONQUISTA	ELISA	CAÑADA ROSQUÍN	FIRMAT
Enero	7.11	6.79	7.18	6.76	6.99
Febrero	5.04	5.3	6.03	5.76	5.62
Marzo	5.03	5.19	5.29	5.18	4.72
Abril	3.69	4.44	3.68	3.33	2.91
Mayo	2.87	3.14	2.73	2.57	2.1
Junio	2.81	2.71	2.67	2.51	2.42
Julio	2.92	3.1	2.72	2.27	2.15
Agosto	3.89	3.49	3.8	3.53	3.12
Septiembre	4.67	4.64	4.85	4.45	4.45
Octubre	5.32	4.51	5.47	5.2	5.47
Noviembre	6.86	6.58	7.15	6.64	6.68

Diciembre	6.8	6.36	7.07	6.98	7.14
Promedio Anual	4.75	4.69	4.89	4.60	4.48

Tabla 1: Radiación medida en las distintas localidades de la Red Solarimétrica. Los valores están dados en kWh/m²/día (hora solar pico).

El factor de corrección k se encuentra tabulado para cada latitud, cada mes del año y cada ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos. El factor de eficiencia PR, contiene valores fijos en el tiempo que están relacionados con el buen arte de instalación y la calidad de los equipamientos intermedios, y por otro lado tiene componentes que dependerán del emplazamiento, fundamentalmente de la temperatura del lugar. La Fig. 49 muestra un esquema de las distintas fuentes de pérdida de energía, entre las que se incluyen las pérdidas por temperatura, pérdidas DC, pérdidas en el inversor y pérdidas AC.

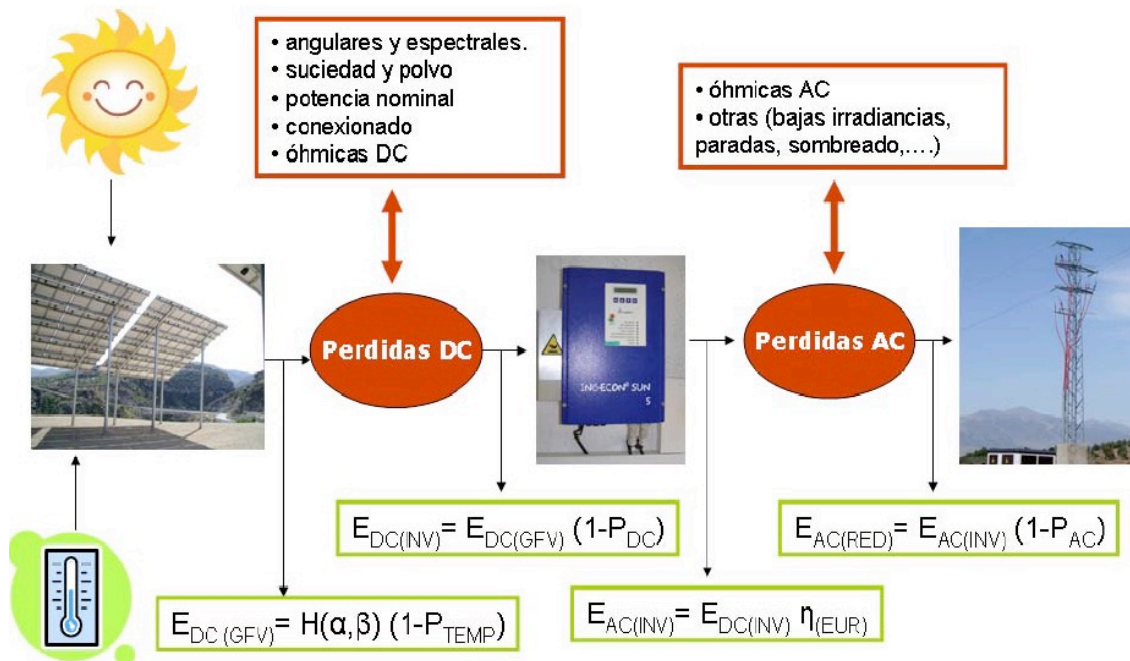


Fig. 49: Esquema del cálculo de la Energía Generada

Para este trabajo hemos estimado el valor de PR a partir de instalaciones fotovoltaicas que se encuentran en funcionamiento dentro de la Provincia, como las ubicadas en la Casa de Gobierno de Santa Fe y la Sede de Gobierno de Rosario. Con los datos de estas instalaciones hemos estimado que las pérdidas fijas están en el orden del 20%, mientras que las pérdidas variables en función de la temperatura de la celda representan una disminución de potencia de 0,43% por cada grado de temperatura por encima de los 25 °C. Este último valor es típico

para los paneles fotovoltaicos de tecnología basada en silicio multicristalino, que son los más utilizados en la actualidad. En consecuencia, para este informe proponemos un valor de PR que vendrá dado por

$$PR = 0,8 \times [1 - 0,0043 \times (T_P - 25)] ,$$

donde T_P es la temperatura, en grados centígrados, que alcanza la superficie del panel. Para el cálculo de esta temperatura se utiliza el modelo estándar, que permite obtener la temperatura del panel conociendo la temperatura ambiente (T_A), la irradiancia en el plano del panel (G_P) y la temperatura de operación nominal de la celda (T_{ONC}):

$$T_P [^{\circ}C] = T_A [^{\circ}C] + \frac{G_P [W/m^2]}{800 [W/m^2]} (T_{ONC} [^{\circ}C] - 20^{\circ}C) . \quad (2)$$

La T_{ONC} es un dato que provee el fabricante de los paneles, y para este informe se tomó el valor típico de $45^{\circ}C$.

Finalmente, considerando la corrección en el plano de la radiación y el PR en función de la temperatura del panel, la Ec. (1) queda:

$$E_{AC} [kWh] = P_{STD} [W] \times \frac{G_H \left[\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}} \right] \times k}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \times 0,8 \times [1 - 0,0043 (T_P - 25^{\circ}C)] \times t [dias] \quad (3)$$

En la Tabla2 se muestra el cálculo de la energía eléctrica generada mensualmente por una planta de 5 MWp ubicada en cada una las cinco localidades, y el total anual. Se indica también el ángulo óptimo de inclinación de los paneles sugerido por la NASA, con el cual se realizó el cálculo.

	TOSTADO	RECONQUISTA	ELISA	CAÑADA ROSQUÍN	FIRMAT
Enero [MWh/mes]	795	762	801	765	795
Febrero	548	578	660	636	628
Marzo [MWh/mes]	670	686	721	711	658
Abril [MWh/mes]	531	627	543	496	441
Mayo [MWh/mes]	459	493	453	430	357
Junio [MWh/mes]	433	413	431	409	399
Julio [MWh/mes]	450	479	437	369	352
Agosto [MWh/mes]	561	496	566	519	479
Septiembre	607	597	641	596	604
Octubre	660	563	683	653	694
Noviembre	761	732	787	742	748

Diciembre	754	709	768	766	796
Total Anual	7193	7146	7498	7086	6942
Ángulo Óptimo	26,3°	26,2°	27,6°	28,7°	30,0°

Tabla 2: Energía mensual generada (MWh/mes), total anual (MWh/año) y ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares en cada una de las localidades.

En definitiva, la energía anual generada por la planta resulta similar en todos los casos, del orden de 7200 MWh/año, con variaciones de $\pm 4\%$ entre los extremos.

6. CONCLUSIONES

La Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe se encuentra en pleno funcionamiento, habiéndose obtenido 45 meses de información de radiación solar y datos climáticos de las distintas Regiones. Hasta el momento los equipos están brindando la información esperada, con algunas dificultades puntuales de funcionamiento y algunos ajustes necesarios. En el futuro, es de esperar que esta red pueda formar parte de una más amplia, que abarque todo el territorio Provincial y se integre a la red Nacional.

Los resultados muestran un buen nivel de radiación en toda la Provincia, con valores similares a los informados por la NASA. El promedio anual de radiación medido para las cinco localidades resultó de 4,75 kWh/m²/día para Tostado, 4,69 kWh/m²/día para Reconquista, 4,89 kWh/m²/día para Elisa, 4,60 kWh/m²/día para Cañada Rosquín y 4,48 kWh/m²/día para Firmat. Estos valores pueden compararse con la insolación medida para otros países en los cuales la energía fotovoltaica se encuentra más desarrollada. Para Alemania, por ejemplo, los valores de radiación están entre 2,7 y 3,3 kWh/m²/día. Aún con este recurso solar relativamente bajo, en Alemania en el año 2016 alrededor del 6,9 % del consumo total de electricidad provino de la energía fotovoltaica.

Volviendo a nuestra Provincia, el promedio anual de radiación solar es relativamente uniforme en todo el territorio, como se aprecia en la Fig. 48. Esto hace que, debido a las pérdidas de eficiencia por temperatura que suelen presentar los paneles solares convencionales de silicio multicristalino, las variaciones en la temperatura ambiente compensan a los cambios en intensidad de radiación solar. En consecuencia, en el resultado final de energía total generada por año, todas las plantas generarían cantidades similares de energía dentro del error de la medición, del orden de 7200 MWh/año. Según estadísticas de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe, con esta cantidad de energía se podrían abastecer unos 4600 hogares que posean un consumo típico para nuestra Provincia. Más aún, para generar 7200 MWh de energía una planta generadora convencional de ciclo combinado emite a la atmósfera unas 3250 Toneladas de CO₂, mientras que una planta de carbón emite unas 7200 Toneladas de CO₂. Por lo tanto, resulta claro el ahorro energético y ambiental que podría lograrse adoptando la generación de energía eléctrica a través de centrales fotovoltaicas.

El rendimiento anual de una planta fotovoltaica en la Provincia de Santa Fe estaría entonces entre 1390 y 1500 MWh/MWp/año aproximadamente. Comparado con otras regiones del país, los mejores emplazamientos para centrales fotovoltaicas están dando rendimientos del orden de 1800 MWh/MWp/año. Sin embargo, se trata en general de regiones aisladas y de difícil acceso, donde los costos logísticos de construcción de una planta solar son elevados. Aún con rendimientos ligeramente menores, la Provincia de Santa Fe ofrece otras condiciones favorables (puertos, rutas, puntos de acceso a la red eléctrica, mano de obra calificada) que la convierten en un territorio apto para la inversión en energía solar fotovoltaica.