

CAMPAÑA DE CALIBRACIÓN DE PIRANÓMETROS REALIZADA POR EL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

Nota Técnica SMN 2026-209

**Fernando Nollas¹, Sebastián Papandrea¹, José Balenzategui²,
Elian Wolfram¹, María de los Milagros Skansi¹, Gerardo
Carbajal Benitez¹, Facundo Orte^{3,4}, Anabela Lusi⁴, Miguel
Serrano⁴, Francisco Quarín¹**

¹ *Servicio Meteorológico Nacional, Argentina*

² *PVLab, Departamento de Energía, CIEMAT, España*

³ *Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, Argentina*

⁴ *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina*

Abril 2026

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

Para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos de radiación solar, es indispensable que los sensores utilizados para su medición sean calibrados periódicamente contra instrumentos de referencia con trazabilidad a la referencia radiométrica mundial, establecida cada cinco años en el World Radiation Center del Physical Meteorological Observatory Davos, Suiza.

En este trabajo se describen el procedimiento y los resultados de la campaña de calibración de piranómetros realizada en condiciones *outdoor* en Buenos Aires, liderada por el Servicio Meteorológico Nacional (Argentina) entre el 13 de enero y el 10 de febrero de 2026. Durante esta campaña se calibraron 24 piranómetros pertenecientes al SMN y al Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, empleando como referencia dos piranómetros previamente calibrados en Davos, de acuerdo con la norma ISO 9847:2023.

De manera complementaria, se utilizó un pirheliómetro absoluto de cavidad como referencia, el cual participó recientemente en la International Pyrheliometer Comparison XIV en Davos, para realizar calibraciones mediante el procedimiento de la "suma de componentes" o "continuous sun-and-shade", definido en la norma ISO 9846:2025. Los resultados obtenidos a partir de ambos procedimientos fueron en general muy consistentes, aunque se han observado diferencias de hasta 1,07 % en algún caso particular. Finalmente, se determinó la sensibilidad de cada piranómetro, junto con su incertidumbre expandida asociada, la cual se mantiene por debajo del 2 %.

Abstract

To ensure the quality and reliability of solar radiation data, sensors used for its measurement must be periodically calibrated against reference instruments with traceability to the World Radiometric Reference, maintained at the World Radiation Centre of the Physical Meteorological Observatory Davos, Switzerland, where it is established every five years.

This work presents the procedure and results of an outdoor pyranometer calibration campaign carried out by the Servicio Meteorológico Nacional (Argentina) in Buenos Aires from 13 January to 10 February 2026. During this campaign, 24 pyranometers belonging to the SMN and the Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa were calibrated using two reference pyranometers previously calibrated in Davos, following the ISO 9847:2023 standard.

In parallel, an absolute cavity pyrheliometer, which recently participated in the International Pyrheliometer Comparison XIV in Davos, was used to perform calibrations using the "component sum" or "continuous sun-and-shade" procedure, established in ISO 9846:2025. The results obtained from both procedures were generally very consistent, although differences of up to 1.07% were observed in some particular cases. Finally, the sensitivity of each pyranometer was determined together with its associated expanded uncertainty, which remained below of 2%.

Palabras clave: campaña de calibración, radiación solar, piranómetros, trazabilidad.

Citar como:

Nollas, F., S. Papandrea, J. Balenzategui, E. Wolfram, M.M. Skansi, G. Carbajal Benitez, F. Orte, A. Lusi, M. Serrano, F. Quarín, 2026: Campaña de calibración de piranómetros realizada por el Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2026-209.

1. INTRODUCCIÓN

La calibración periódica de piranómetros constituye un requisito técnico esencial para garantizar la trazabilidad metrológica y la calidad de las mediciones de irradiancia solar global horizontal (GHI) en redes de monitoreo. En el contexto de una red solarimétrica nacional, como la que opera el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la consistencia y exactitud de los datos no solo impactan en aplicaciones climatológicas, sino también en la evaluación del recurso solar para generación fotovoltaica, estudios agroclimáticos, arquitectura bioclimática y validación de productos satelitales y de reanálisis, entre otros. Para asegurar la calidad y confiabilidad de los datos, los piranómetros deben ser calibrados periódicamente, lo cual permite reducir sesgos instrumentales, controlar derivas temporales y asegurar la comparabilidad de las series temporales.

En su rol como Centro Regional de Radiación (RRC, por sus siglas en inglés), el SMN tiene la responsabilidad, entre otras, de diseminar la Referencia Radiométrica Mundial (WRR, por sus siglas en inglés) a la región III de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esta WRR es determinada cada cinco años por el World Standard Group (WSG, por sus siglas en inglés), un conjunto de radiómetros absolutos de cavidad operado por el Physical Meteorological Observatory in Davos/World Radiation Centre (PMOD/WRC) en la Intercomparación Internacional de Pirheliómetros (IPC), evento en el cual el SMN participa desde hace muchos años con diferentes pirheliómetros absolutos de cavidad. Una vez en destino, el pirheliómetro absoluto de cavidad permite transferir la escala radiométrica a otros pirheliómetros por aplicación de la norma ISO 9059:2025 o también calibrar piranómetros según la norma ISO 9846:2025, basado en el uso de un pirheliómetro de cavidad absoluta como referencia primaria.

Con el fin de mantener calibrada su red solarimétrica, el SMN llevó adelante una campaña de calibración de piranómetros en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA, Lat: -34.59, Long: -58.48°, Alt: 25 m s.n.m.) y en ella participaron 24 sensores, abarcando un periodo temporal que se extendió desde el 13/01/2026 hasta el 10/02/2026. Los procedimientos utilizados se enmarcaron en los lineamientos establecidos a través de las normas ISO 9847:2023 e ISO 9846:2025. La norma ISO 9847:2023 especifica los procedimientos de calibración en campo de piranómetros mediante comparación con un piranómetro de referencia previamente calibrado y trazable al WRR. El procedimiento utilizado en esta campaña fue el B1, correspondiente a mediciones sobre la horizontal, el cual se basa en mediciones simultáneas bajo condiciones atmosféricas y radiativas estables, con adecuado control de alineación, nivelación y limpieza de cúpulas. El método comparativo permite determinar la nueva sensibilidad o responsividad de cada instrumento, en unidades de $\mu V / (W/m^2)$, en base a la señal del piranómetro bajo calibración (test) y la irradiancia medida por el patrón de referencia. Para ello, se emplearon dos piranómetros patrón como referencias operativas, lo cual aporta redundancia y permite evaluar la coherencia interna del sistema de calibración. Ambos equipos cuentan con calibraciones vigentes y trazables, garantizando la transferencia adecuada de la escala radiométrica a los instrumentos de la red solarimétrica nacional.

Complementariamente al procedimiento establecido por la norma ISO 9847:2023, se implementó también la metodología definida en la norma ISO 9846:2025 mediante el método continuo ("continuous sun-and-shade"). Para ello se utilizó un pirheliómetro absoluto de cavidad como patrón primario para la determinación de la irradiancia normal directa (DNI, por sus siglas en inglés). Este tipo de instrumento, basado en el principio de sustitución eléctrica y caracterizado por su muy baja incertidumbre, constituye la referencia fundamental para la trazabilidad radiométrica a la WRR. La aplicación de este procedimiento de la norma ISO 9846 también permite transferir la escala radiométrica internacional a los piranómetros de la red, asegurando que las mediciones se encuentren alineadas con estándares internacionales y reduciendo la propagación de errores sistemáticos en la cadena de medición.

La combinación de ambas metodologías en una misma campaña fortalece el aseguramiento de la calidad de la red solarimétrica y permite comparar los resultados. En conjunto, este enfoque integral incrementa la confiabilidad de los datos generados por la red del SMN, respaldando tanto aplicaciones operativas como investigaciones científicas y estudios de largo plazo sobre el recurso solar en Argentina.

2. INSTRUMENTAL

2.1 Sensores de referencia

Con la finalidad de tener redundancia, prevenir cualquier imprevisto y hacer ensayos con diferentes procedimientos y tecnologías de sensores, el SMN envió al PMOD/WRC en agosto de 2025 dos piranómetros para su calibración. Uno de ellos de la marca Kipp&Zonnen, modelo CMP22 y número de serie 220822 (en adelante CMP22_220822) y el otro de la marca Hukseflux modelo SR30-M2-D1 con número de serie 18181 (en adelante SR30_18181). El CMP22_220822 presenta salida analógica en voltaje mientras que el SR30_18181 tiene salida digital en RS485 y transmite en protocolo Modbus. Ambos fueron calibrados por el PMOD/WRC durante septiembre de 2025.

Antes de su calibración en el PMOD/WRC, el CMP22 había sido calibrado con anterioridad en 2023 utilizando el pirheliómetro absoluto de cavidad marca Davos-Instruments, modelo PMO8 con número de serie F201-009 del SMN (Nollas y Lell, 2024), obteniendo una sensibilidad de $(9.555 \pm 0.057) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$. Este valor presenta una diferencia de 0.25% respecto al obtenido por Davos, en donde utilizan el método de la "suma de componentes" / "continuous sun-and-shade" de la norma ISO 9846:2025 para calibrar piranómetros.

Asimismo, entre septiembre y octubre de 2025, el Lic. Fernando Nollas participó en la IPC XIV con la finalidad de intercomparar con el WSG el PMO8 con número de serie F201-009 del SMN, obteniendo así su factor de transferencia al WRR. En la Fig. 1 se puede ver el proceso de alineamiento del PMO8 durante uno de los días utilizados para su comparación en Davos. Durante la campaña de calibración en Buenos Aires, el PMO8 se montó sobre un seguidor solar a dos ejes de la marca Kipp&Zonen modelo SOLYS2, el cual permitió hacer un seguimiento del sol a lo largo de todo el día.



Fig. 1. Montaje del PMO8 en el seguidor solar durante el IPC XIV en Davos.

2.2 Sensores de campo

Los 24 piranómetros que participaron de la campaña de calibración se detallan en la Tabla I, donde se puede ver el tipo de instrumento, institución a la que pertenece y el sitio de medición. Asimismo, se detalla el estado general del piranómetro, lo cual es muy importante para evaluar posibles problemas o desperfectos y tener esto en cuenta a la hora de analizar las incertidumbres de las mediciones obtenidas por los mismos una vez en sitio. En esta campaña también se calibraron los piranómetros que miden irradiancia solar difusa horizontal (DHI) en sus respectivas estaciones.

Los piranómetros que miden GHI y DHI en Ushuaia se calibraron sin el escudo (o *sunscreen*) que los protege del calentamiento por radiación directa debido a que en el sitio de medición tampoco lo utilizan por los fuertes vientos característicos de Ushuaia. En un primer momento estuvo previsto que la campaña de calibración finalizara el 26/01/2026 pero, dado que los piranómetros de Ushuaia arribaron el 22/01, estos fueron calibrados entre el 23/01/2026 y el 10/02/2026.

Tabla I. Piranómetros que participaron de la campaña de calibración.

NÚMERO DE SERIE	MARCA Y MODELO	SITIO DE MEDICIÓN	INSTITUCIÓN	OBSERVACIONES
18181	Hukseflux SR30-M2-D1	-	SMN	Referencia
220822	Kipp&Zonen CMP22	-	SMN	Referencia
58847	Kipp&Zonen CM11	-	CITEDEF	-
830283	Kipp&Zonen CM11	-	SMN	Sin burbuja ni tornillos niveladores
830285	Kipp&Zonen CM11	Buenos Aires	SMN	Medición de DHI en sitio. Sin burbuja niveladora
830286	Kipp&Zonen CM11	Mendoza	SMN	-
830287	Kipp&Zonen CM11	Ushuaia	SMN	Medición de GHI en sitio. Burbuja niveladora con tamaño aumentado. Cúpula exterior levemente esmerilada.
830288	Kipp&Zonen CM11	Tandil	CITEDEF	Sin burbuja niveladora y con patas que dificultaron la nivelación por su rigidez
850897	Kipp&Zonen CM11	-	CITEDEF	Sin burbuja niveladora
955992	Kipp&Zonen CM11	Ushuaia	SMN	Medición de DHI en sitio. Sin burbuja niveladora. Cúpula exterior levemente esmerilada.
163812	Kipp&Zonen CMP11	Buenos Aires*	SMN	Medición de GHI en sitio
163813	Kipp&Zonen CMP11	La Quiaca	SMN	Sin burbuja niveladora
110777	Kipp&Zonen CMP21	-	CITEDEF	-

120924	Kipp&Zonen CMP21	Neuquén	SMN	-
120925	Kipp&Zonen CMP21	Comodoro Rivadavia	SMN	Burbuja niveladora con tamaño aumentado
120926	Kipp&Zonen CMP21	Villa Martelli	SMN	Sin burbuja niveladora
120927	Kipp&Zonen CMP21	Rio Gallegos	SMN	Sin burbuja niveladora
120928	Kipp&Zonen CMP21	Bariloche	SMN	-
140454	Kipp&Zonen CMP21	Pilar	SMN	Sin burbuja niveladora
140455	Kipp&Zonen CMP21	Tucumán	SMN	Burbuja niveladora con tamaño aumentado. Algunos problemas con el cambio de sílica
Desconocido	Licor	La Quiaca	SMN	
42055	Hukseflux LP02	-	SMN	-
42056	Hukseflux LP02	Buenos Aires*	SMN	-
16458	Hukseflux SR30-M2-D1	-	SMN	Ausencia de base de apoyo
18180	Hukseflux SR30-M2-D1	-	SMN	-
23652	Hukseflux SR30-M2-D1	-	CITEDEF	-

* Una vez finalizada la campaña de calibración, el piranómetro CMP11_163812 (que hasta el inicio de la campaña midió GHI en Buenos Aires) fue enviado a Salta para que empiece a medir allí y en su lugar el LP02_42056 continuó las mediciones de GHI en Buenos Aires.

El piranómetro Kipp&Zonen CM11 con número de serie 955655 que medía DHI en La Quiaca fue dado de baja porque al intentar desmontarlo para el envío a calibración el cable sufrió a una rotura irreparable.

El piranómetro de principio fotovoltaico (fotodiodo) de marca Licor posee un número de serie que no puede verificarse externamente, ya que no se encuentra visible en su carcasa. No obstante, esto no representa un inconveniente, dado que fue el único instrumento de este tipo que participó en la campaña y se utiliza exclusivamente como equipo de comprobación en la estación de La Quiaca, por lo que se encuentra correctamente identificado.

3. METODOLOGÍA

Previamente al inicio de la campaña, la mayoría de los piranómetros fueron enviados a Buenos Aires para su participación en la calibración. El día 12/01/2026 se dio comienzo al montaje de los instrumentos. Todos los sensores, a excepción del CM11_830285, se instalaron sobre una plataforma horizontal diseñada específicamente para la intercomparación de sensores de radiación solar, ubicada en el techo de la "casilla Dobson" (Figura 2). El piranómetro CM11_830285, que mide DHI en el OCBA, se mantuvo instalado en el mismo sitio en donde realiza las mediciones de manera operativa, pero con el aro corrido de manera tal de recibir la radiación global en vez de la difusa. La distancia lineal en la que este piranómetro se encontraba respecto a donde estaba ubicado el piranómetro de referencia fue de aproximadamente 10 metros.

A pesar de que la arboleda circundante podría afectar a los valores de la irradiancia difusa recibida por los sensores, se estima que su efecto sería relativamente pequeño (dada la altura solar alcanzada a mediodía) y además sería equivalente en todos los dispositivos (patrón y bajo ensayo) al estar medidos en las mismas condiciones de operación.



Fig. 2. Mesada utilizada para las calibraciones de radiómetros solares en Buenos Aires. La imagen muestra algunos de los piranómetros que participaron de la campaña. La plataforma está alineada según un eje Este-Oeste, con el Norte orientado hacia la parte izquierda de la imagen

Antes de instalar cada radiómetro se corroboró el estado del mismo, se cambió el desecante (sílica gel) que absorbe de humedad interna cuando fue necesario y se limpió la cúpula con agua destilada. Todos los sensores se instalaron en el plano horizontal utilizando la burbuja niveladora, cuando disponían de ella y, en los piranómetros que no contaban con burbuja en buen estado, se utilizó un nivel externo diseñado para este fin (Figura 3). Si bien este elemento no reemplaza la precisión con la que se puede nivelar un piranómetro con su burbuja original, proporciona una forma de nivelar los piranómetros.

Los piranómetros fueron conectados a los siguientes dataloggers de marca Campbell: CR1000X s/n 38118, CR1000X s/n 41981, CR1000X s/n 38842 y CR1000M s/n 83877. Todos los dataloggers CR1000X se instalaron en el interior de la “casilla Dobson” con una temperatura controlada en el rango $(24 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Los dataloggers se conectaron a una PC y fueron configurados para adquirir valores instantáneos de los piranómetros cada 5 segundos. Por otro lado, el piranómetro CM11_830285 está conectado a un datalogger CR1000M que adquiere datos de promedio cada 1-min, por ello, para calibrar este piranómetro, los datos del piranómetro de referencia se promediaron cada 1 minuto para que la comparación sea directa.



Fig. 3. Nivel externo utilizado para nivelar piranómetros que no contaban con burbuja.

Durante la campaña se realizó una limpieza diaria de las cúpulas de los piranómetros y control diario de la nivelación de los instrumentos, utilizando tanto los sistemas de nivelación de fábrica como el sistema manual basado en una burbuja externa. Asimismo, se realizó un control visual continuo del comportamiento de los piranómetros y se obtuvo, al final de cada día, una sensibilidad preliminar y análisis del día para abordar posibles problemas instrumentales a tiempo.

3.1 Metodologías ISO

Como se mencionó anteriormente, durante la campaña los piranómetros fueron calibrados mediante dos metodologías diferentes, las cuales requieren diferentes parámetros. La metodología descrita en la norma ISO 9847:2023 establece la calibración de un piranómetro mediante la comparación con otro piranómetro de referencia, ambos midiendo irradiancia solar en el mismo plano de medida (por ejemplo, GHI). Según la norma ISO 9847:2023, el tipo de método es el B1 (*outdoor* horizontal). De esta manera, la sensibilidad del piranómetro test puede obtenerse teniendo en cuenta la ecuación 1, donde V es su tensión de salida, GHI es la irradiancia global horizontal determinada por el patrón de referencia y S la sensibilidad que se desea determinar.

$$S = V/GHI$$

Ec. 1

Aplicando la Ecuación 1 es posible obtener sensibilidades instantáneas (S) para cada una de las mediciones simultáneas entre el piranómetro de referencia y el piranómetro que se desea calibrar.

Si bien se contó con dos piranómetros calibrados en Davos, el SR30_18181 fue el que se utilizó como referencia para calibrar el resto de los piranómetros mediante la norma ISO 9847:2023. Cabe destacar que cualquier de los dos podría haber sido usado como referencia, sin embargo, se decidió utilizar el SR30 como referencia principal porque las condiciones de operación durante esta campaña fueron muy diferentes que las condiciones en las que ambos piranómetros fueron calibrados. Por ello, se tuvo en cuenta que el SR30 tiene un sistema de ventilación y un procesamiento interno que corrige los valores de irradiancia en función de la temperatura.

Es importante mencionar que los piranómetros SR30 tienen un conversor analógico-digital interno de manera tal que su salida es digital en RS485 con protocolo Modbus. Esto implica que los datos de salida ya proveen los valores de GHI en unidades radiométricas de $W.m^{-2}$. La norma ISO 9847:2023 contempla la calibración de este tipo de instrumentos y establece que su calibración puede hacerse en términos de un factor de corrección aplicado a la irradiancia medida, siendo este factor un valor adimensional cercano a 1. Este factor de corrección debe aplicarse dividiendo la GHI medida por los piranómetros SR30 para obtener así la GHI “calibrada”.

Durante el análisis de los datos se consideraron únicamente valores tales que el ángulo solar cenital (SZA, por sus siglas en inglés) fuera menor a 60° (altura solar $\geq 30^\circ$), cumpliendo con la norma ISO 9847:2023 respecto a la distribución de los mismos alrededor del mediodía solar. El valor de SZA fue obtenido para cada instante de medición utilizando las ecuaciones de Reda y Andreas (2004,2007).

Por otro lado, la norma ISO 9846:2025 establece la calibración de un piranómetro por comparación con un pirheliómetro de referencia, determinando la GHI a partir de la medida de DNI y DHI en base a la igualdad mostrada en la ecuación 2 (válida solo para un piranómetro en posición horizontal).

$$GHI = DNI \cdot \cos(SZA) + DHI$$

Ec. 2

Durante los días 20 al 22 de enero el piranómetro patrón SR30_18181 se montó sobre el seguidor SOLY2, el cual cuenta con una bola sombreadora utilizada para proyectar sombra sobre el sensor y así medir la DHI (Figura 4). Se decidió utilizar el mismo piranómetro que había sido utilizado para calibrar los piranómetros según ISO 9847:2023 para poder comparar de manera directa los resultados entre ambas metodologías. Según la norma ISO 9846:2025, el tipo de método es el *continuous sun and shade* (método de la “suma de componentes”). En ese mismo seguidor se montó el PMO8 para medir la DNI y, una vez ubicado sobre el seguidor solar, el PMO8 fue configurado a través de su unidad de control, la cual se conecta a la PC, para obtener una medición de DNI cada 30 segundos. Es importante mencionar la relevancia de la correcta alineación del PMO8 para asegurar la confiabilidad de las mediciones.



Fig. 4. Seguidor solar a dos ejes en el cual se montó el PMO8 (para medición de la DNI) y el piranómetro SR30_18181 (para la medición de la DHI), incluyendo el accesorio de sombreado.

Las condiciones ambientales fueron monitoreadas durante la campaña de calibración utilizando una estación meteorológica automática (EMA) marca VAISALA del SMN que se encuentra en el OCBA. A partir de esta EMA se obtuvo la temperatura ambiente, presión atmosférica, precipitación, humedad relativa y velocidad y dirección del viento. En particular las mediciones de viento se utilizaron para filtrar mediciones de DNI en las cuales el viento sea mayor a 2.5 m/s, criterio aplicado durante los IPC en Davos. Además, la medición de la temperatura ambiente permitió evaluar posibles dependencias de la sensibilidad con la temperatura, análisis recomendado por la norma ISO 9847:2023.

Por otro lado, en la estación de Villa Martelli de CITEDEF (a menos de 5 Km del OCBA) funciona un fotómetro solar CIMEL de la red AERONET que mide el espesor óptico de aerosoles (AOD, por sus siglas en inglés). Este parámetro es también muy importante para evaluar la estabilidad, la turbidez atmosférica y las condiciones de transparencia durante la medición de la irradiancia directa normal (DNI), permitiendo interpretar adecuadamente la variabilidad observada en los registros. Durante el IPC en Davos se establece que el valor del espesor óptico a 500 nm (AOD500) no debe superar el valor 0.12, por lo que el mismo valor fue utilizado como criterio en esta campaña.

Si bien la norma ISO 9847:2023 establece métodos para el análisis de datos en condiciones de cielo con nubosidad, durante esta campaña solo se utilizaron únicamente datos correspondientes a cielo claro para obtener las sensibilidades de los piranómetros debido a la estabilidad que ofrece esta condición. Asimismo, si bien se presentaron varios días sin nubosidad, algunos días hubo nubosidad parcial que obligaron a utilizar alguna metodología automática de detección de cielo claro. Para esto se utilizó la metodología propuesta por Reno y Hansen (2016), la cual ha demostrado ser muy sensible incluso a nubes altas que tienen alta transparencia atmosférica. Esta metodología establece criterios de comparación entre las mediciones de GHI y las estimaciones obtenidas mediante el uso de un modelo de cielo claro. Para la estimación de GHI en condiciones de cielo claro se optó por utilizar el modelo detallado en Rigollier et al. (2000), normalmente llamado modelo ESRA. La elección de este modelo empírico se basa en su sencillez y el hecho de depender de un solo parámetro externo, el índice de turbidez de Linke, establecida para una masa de aire de 2 (TL2) que está relacionado con la transparencia atmosférica. Para el análisis de los datos se utilizó un valor fijo de 3 para el TL2, el cual se obtuvo en base a un análisis preliminar.

3.2 Análisis de incertidumbres

Una vez establecida la sensibilidad de cada piranómetro, se realizó un análisis de incertidumbres siguiendo las recomendaciones de la GUM (JCGM 100:2008), el cual consideró todas las posibles fuentes de incertidumbre relacionadas con los diferentes mediciones y parámetros que, de una forma u otra, afectan las mediciones. Durante el análisis de incertidumbres realizado en esta campaña se consideraron tanto las incertidumbres de tipo A como las de tipo B. Se supuso que la covarianza entre las variables de entrada en el modelo es nula, por lo que la incertidumbre combinada estándar de una cantidad o magnitud “y”, que depende de variables independientes x_i se expresa según la Ecuación 3.

$$u^2(y) = \sum \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad \text{Ec. 3}$$

Finalmente, la incertidumbre expandida (U) se obtiene a partir de la incertidumbre combinada estándar multiplicada por un parámetro k , llamado *factor de cobertura*, el cual toma el valor 2 en un intervalo de confianza del 95% para una distribución normal.

En el caso del PMO8, se utilizó el trabajo de Balenzategui y otros (2022) como referencia para el análisis de incertidumbres en la medición de DNI y luego se siguió el procedimiento establecido en la ecuación 3.

De la Tabla I se desprende que 9 piranómetros no cuentan con un sistema adecuado para la nivelación horizontal incorporado en el cuerpo del sensor, lo cual no es un problema menor y debe tenerse en cuenta a la hora de evaluar las incertidumbres de medición durante la operación en sitio (en su lugar de uso habitual). Si bien se reconoce que errores de nivelación pueden introducir desviaciones significativas en las mediciones radiométricas —particularmente en función del ángulo cenital solar y de la respuesta direccional del instrumento—, en el presente análisis de incertidumbres no se incorporó explícitamente un término asociado a una eventual desnivelación. En su lugar, se asumió que cualquier desviación angular que afectara al cálculo de la incertidumbre de la sensibilidad sería pequeña y estaría contenida dentro de la dispersión estadística observada. Sin embargo, se recomienda que, al estimar la incertidumbre de las mediciones operativas de cada estación, se considere explícitamente una contribución adicional vinculada a posibles errores de nivelación en aquellos sitios donde el piranómetro no cuente con burbuja niveladora.

En consecuencia, las incertidumbres reportadas en este informe corresponden estrictamente al proceso de calibración bajo las condiciones específicas de la campaña, y no incluyen contribuciones adicionales asociadas a la instalación permanente ni al mantenimiento operativo de los instrumentos en campo.

Es importante mencionar que la dispersión de valores instantáneos de sensibilidad se tuvo en cuenta durante el análisis de incertidumbres (tipo A), sin embargo, su contribución relativa a la incertidumbre total es relativamente pequeño debido al gran número de medidas registradas y al mayor peso de las contribuciones de tipo sistemático (incertidumbre de tipo-B). Como consecuencia, un sensor que presente una mayor variabilidad en los valores de S_i , ya sea por una marcada dependencia con la temperatura o con el ángulo de incidencia (afectado además por una nivelación inadecuada) o por otros factores, puede obtener incertidumbres de calibración similares a uno que no presente dichos problemas, aunque el valor de la sensibilidad final sí pueda estar afectado por esas dependencias. Teniendo esto en cuenta, se decidió calcular un parámetro relacionado con la variabilidad de las S_i utilizadas para obtener la sensibilidad final como una manera de identificar, matemáticamente, los piranómetros cuya dificultad en la nivelación puede haber afectado el valor final de sensibilidad. La desviación relativa al valor de S se presenta en la ecuación 4, donde $\sigma(S_i)$ representa la desviación estándar de los valores S_i .

$$\sigma_{rel} = \frac{\sigma(S_i) * 100}{S}$$

Ec. 4

Si bien no es posible separar totalmente el efecto de la dependencia en temperatura del efecto producido por el ángulo de incidencia (y una inadecuada nivelación), se realizaron gráficas de sensibilidad vs temperatura ambiente con la finalidad de detectar algún tipo de tendencia que permita identificar una dependencia con la temperatura. Aunque habría sido óptimo monitorear y adquirir los valores de temperatura interna de los piranómetros para hacer este tipo de análisis, se consideró que la temperatura ambiente es suficientemente representativa de las condiciones que se quieren evaluar.

4. RESULTADOS

En la Tabla II se muestran los resultados de sensibilidad, incertidumbre expandida (para $k=2$), cantidad de datos utilizados (N) y desviación relativa para cada uno de los piranómetros calibrados durante la campaña respecto al piranómetro de referencia SR30_18181 aplicando la norma ISO 9847:2023. En la misma tabla se incluye también la sensibilidad anterior de cada piranómetro, cuando se disponía de ella, a modo de comparación.

Uno de los primeros aspectos a destacar de la Tabla II es que los piranómetros presentan una incertidumbre expandida menor al 1.6% en todos los casos, producto del análisis de incertidumbres presentado en la sección 3.2. Es importante notar la cantidad total de datos que participaron en el cálculo final, denotando que el mismo se basó en un conjunto robusto de datos. El número de datos utilizados en el cálculo de la sensibilidad se encuentra entre 12000 y 27000 a excepción del CM11_830285 porque su adquisición es 1-min.

Por otra parte, las sensibilidades encontradas durante esta campaña resultan, en general, consistentes con las previamente reportadas para cada piranómetro. Se encontró una diferencia máxima de 3.1% para uno de los instrumentos, con la gran mayoría de los piranómetros por debajo del 1% respecto a la sensibilidad anterior. Esto es un aspecto importante a la hora de evaluar series temporales largas. Dada la estabilidad característica de este tipo de radiómetros, es importante señalar que, en algunos casos, la única referencia disponible correspondía a la calibración realizada en fábrica.

Tabla II. Resultados de la campaña de calibración aplicando la norma ISO 9847:2023. En color rojo se presentan los valores cuya desviación relativa fue mayor a 0.5% respecto a la sensibilidad final.

Piranómetro	S [$\mu\text{V/W.m}^{-2}$]	U [$\mu\text{V/W.m}^{-2}$]	N	$\sigma(S_i)$ [$\mu\text{V/W.m}^{-2}$]	Var_{rel} (%)	S anterior [$\mu\text{V/W.m}^{-2}$]	Dif (%)
CM11_58847	4.983	0.079	27362	0.018	0.37	5.02	-0.7
CM11_830283	5.634	0.090	12959	0.036	0.63	5.63	0.1
CM11_830285	5.058	0.049	1307	0.057	1.13	5.03	0.6
CM11_830286	4.707	0.075	12967	0.020	0.43	4.63	1.7
CM11_830287	4.951	0.079	17808	0.054	1.09	4.98	-0.6
CM11_830288	4.754	0.076	26994	0.028	0.59	4.86	-2.2
CM11_850897	4.762	0.076	27273	0.025	0.53	4.84	-1.6
CM11_955992	5.233	0.083	19991	0.036	0.69	5.40	-3.1
CMP11_163812	9.78	0.15	12905	0.040	0.41	9.85	-0.7
CMP11_163813	9.26	0.15	27368	0.050	0.54	9.27	-0.1
CMP21_110777	9.78	0.15	27423	0.031	0.32	9.97	-1.9
CMP21_120924	8.77	0.14	27301	0.030	0.34	8.82	-0.6
CMP21_120925	9.42	0.15	27285	0.038	0.41	9.47	-0.6
CMP21_120926	9.01	0.14	27373	0.047	0.52	8.94	0.8
CMP21_120927	8.74	0.14	27342	0.047	0.54	8.73	0.1
CMP21_120928	8.68	0.14	27421	0.032	0.36	8.80	-1.4
CMP21_140454	8.74	0.14	27400	0.041	0.47	8.78	-0.5
CMP21_140455	8.70	0.14	12969	0.032	0.37	8.74	-0.5
LiCor	10.190	0.096	14694	0.069	0.68	-	-
LP02_42055	13.61	0.13	22743	0.110	0.81	13.6	0.1
LP02_42056	11.47	0.18	23989	0.057	0.49	11.4	0.6
SR30_16458	0.990*	0.016	12968	0.002	0.17	1	-1.0
SR30_18180	0.991*	0.016	27303	0.002	0.22	1	-0.9
SR30_23652	0.991*	0.016	27299	0.003	0.30	1	-0.9

* El valor de S reflejado para los piranómetros tipo SR30-M2-D1 corresponde al factor adimensional de corrección.

Con el objetivo de evaluar gráficamente el desempeño de los piranómetros una vez aplicada la sensibilidad obtenida para cada piranómetro, en el Anexo A se presentan las figuras correspondientes a la irradiancia medida por el piranómetro de referencia comparada con la irradiancia calculada para cada piranómetro

calibrado. Como puede observarse en las figuras, los valores presentan una relación altamente lineal y se distribuyen próximos a la recta 1:1 (línea cortada roja), lo que indica un buen acuerdo entre ambas magnitudes.

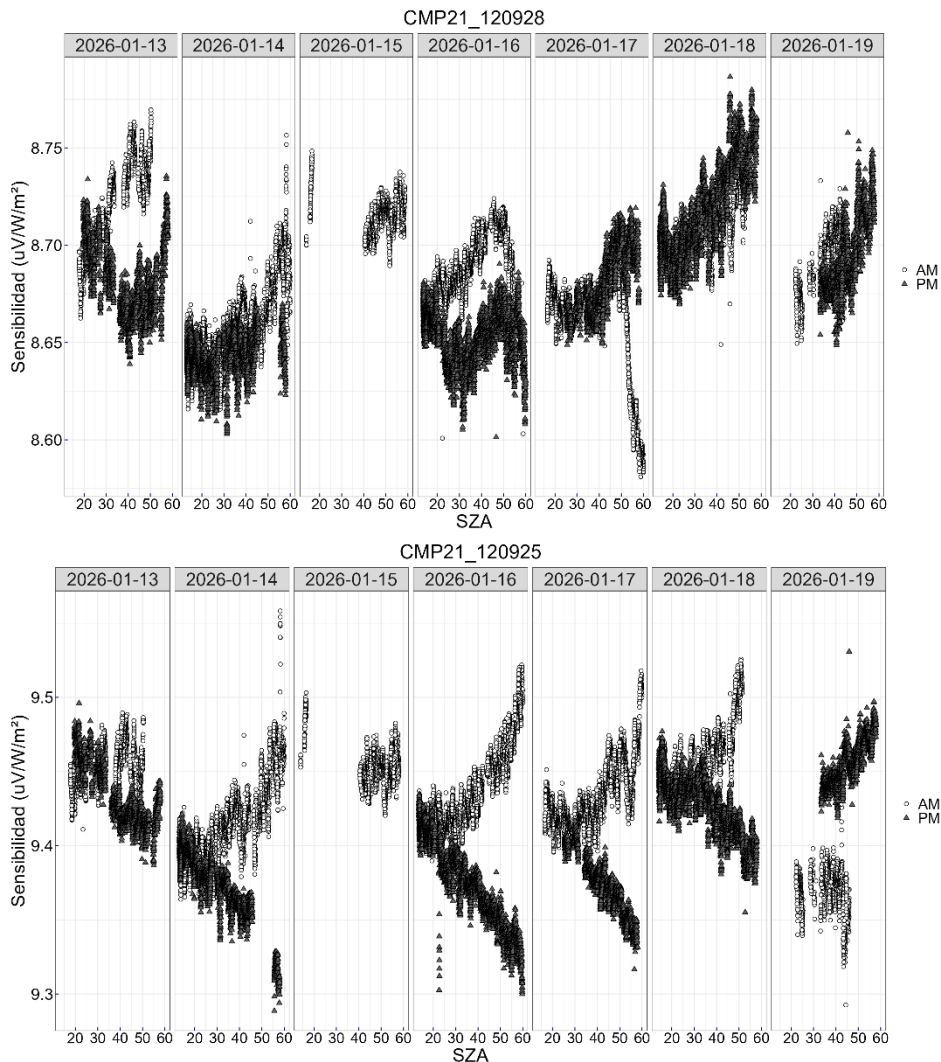


Fig. 5. Comportamiento de la sensibilidad en función de SZA para los días de calibración usados en el piranómetro CMP21_120925 (abajo) y CMP21_120928 (arriba).

Dado que la campaña de calibración se realizó en condiciones *outdoor*, las condiciones ambientales no son controladas. Si a esto se le suma el error en la respuesta coseno de los piranómetros, es posible que las sensibilidades S_i vayan cambiando a lo largo del día en función, principalmente, del SZA. En el anexo B se presentan gráficos en donde se muestra el comportamiento de los valores S_i en función de SZA para cada piranómetro en los días utilizados para su calibración. Este tipo de representaciones permite evaluar posibles dependencias de la sensibilidad respecto al ángulo de incidencia. En el mismo gráfico también se diferencian los valores correspondientes a la mañana y a la tarde (AM y PM) con la finalidad de analizar variaciones intradiarias. Este análisis hace posible identificar condiciones de nivelación inadecuada en los piranómetros, obteniendo gráficos reflejados alrededor de un valor medio entre la tarde y la mañana. En la Figura 5 se presenta este comportamiento para los piranómetros CMP21_120928 y CMP21_120925. En el caso del CMP21_120928 se puede observar que la mayoría de los días los valores de S_i presentan un comportamiento similar durante la mañana y la tarde, lo cual es esperable si las condiciones ambientales se mantuvieron estables y el sensor correctamente nivelado. En cambio, el piranómetro CMP21_120925 muestra una dependencia muy marcada con SZA comportándose de manera espejada, evidenciando una desnivelación.

En este caso se encuentran diferencias de hasta 4.5% entre los valores de S_i hallados entre la mañana y la tarde.

Prácticamente todos los piranómetros que obtuvieron $\sigma_{rel} > 0.5\%$ comparten la característica de no poder nivelarse adecuadamente con su burbuja por lo que este parámetro podría ser una alternativa para identificar este tipo de situación. Se identifican, no obstante, dos tipos de excepciones. Por un lado, piranómetros como el CMP21_140454 (sin burbuja) o los CMP21_120925 y CMP21_140455 (con burbuja aumentada de tamaño) presentaron un valor menor a 0,5%. La otra excepción son los piranómetros LiCor y LP02_42055 que si cuentan con burbuja niveladora pero, al parecer, su dependencia en temperatura es mayor. Cabe aclarar que estos dos piranómetros están clasificados como clase C según la norma ISO 9060:2018, con una dependencia en temperatura considerable según se puede ver en la Figura 6.

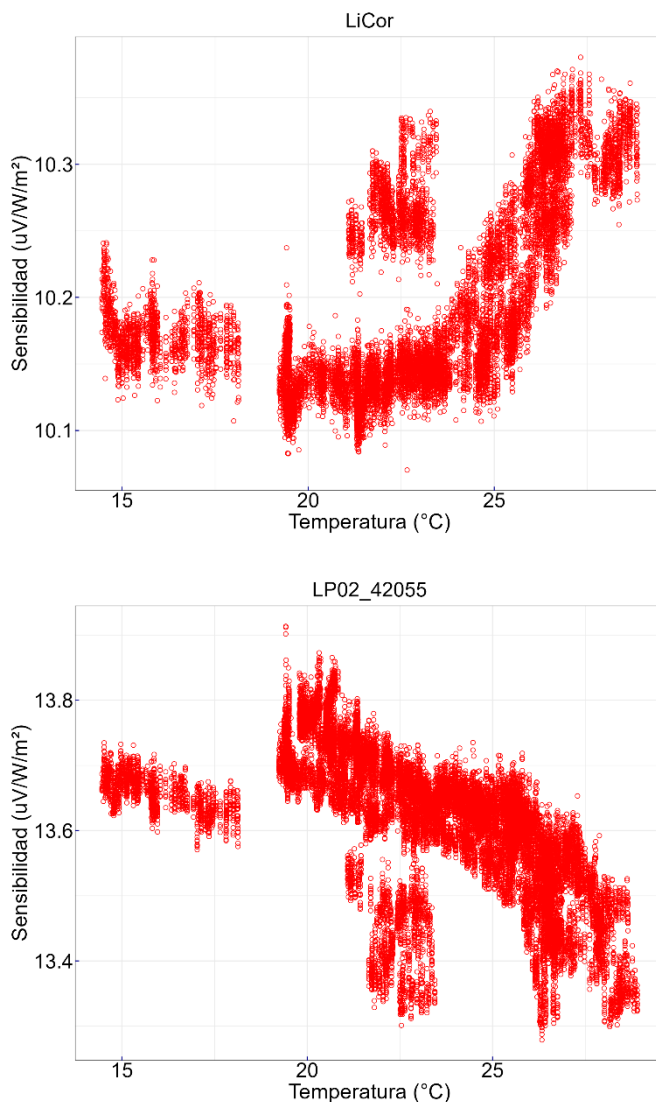


Fig. 6. Comportamiento de la sensibilidad en función de la temperatura ambiente para los días de calibración usados en el piranómetro LP02_42055 (abajo) y LiCor (arriba).

Un resultado interesante surge de analizar los valores de S_i para los piranómetros CM11_955992 y CM11_830287, ambos con sitio de medición en Ushuaia. Como se comentó en la sección 2.2, estos piranómetros fueron calibrados sin el escudo (o *sunscreen*) para que su condición de calibración sea, al menos en ese sentido, similar a sus condiciones operativas. Como consecuencia, la dispersión en los valores de S_i para estos sensores presentó una marcada dependencia con la temperatura como se puede ver en la

Figura 7. Los gráficos de S_i como función de la temperatura ambiente para el resto de los piranómetros se muestra en el Anexo C, en donde no es posible inferir una dependencia visible de los valores de S_i con la temperatura.

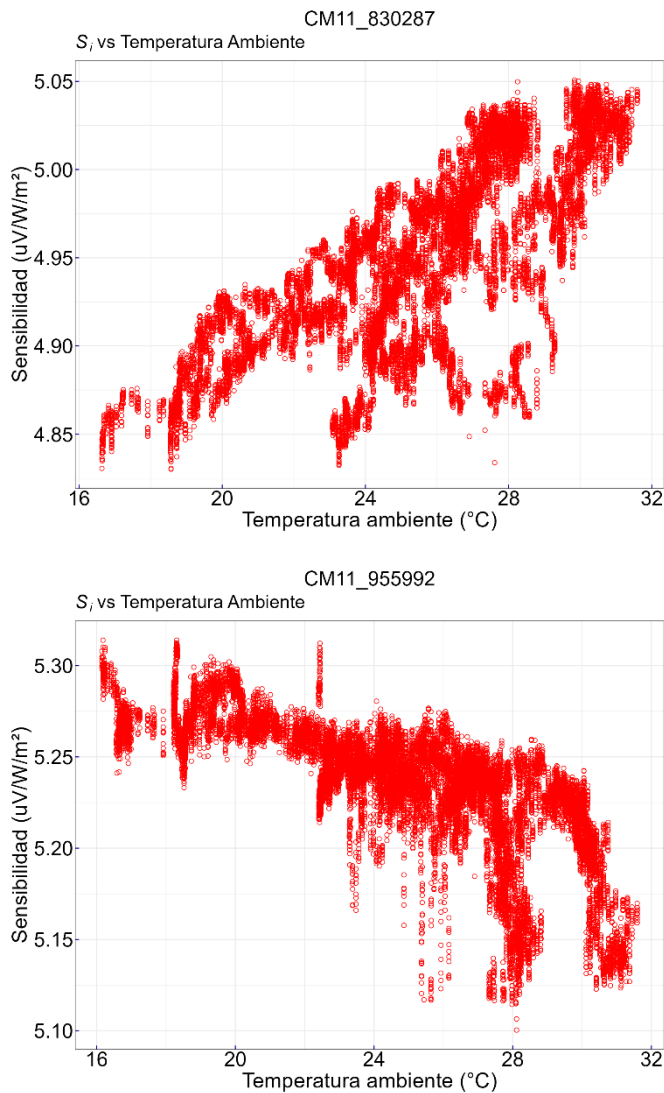


Fig. 7. Comportamiento de la sensibilidad en función de la temperatura ambiente para los días de calibración usados en el piranómetro CM11_955992 (abajo) y CM11_830287 (arriba).

Por otro lado, en la Tabla III se presentan los resultados de la calibración de los piranómetros bajo la metodología ISO 9846:2025 en comparación con los obtenidos con la metodología ISO 9847:2023. También se detalla la cantidad de datos (N) utilizados para obtener la sensibilidad mediante la metodología ISO 9846:2025. Cabe mencionar que algunos piranómetros no pudieron ser calibrados mediante la metodología ISO 9846:2025 por no contar con mediciones durante los días en los que se implementó dicha metodología. En la Tabla III también se muestran los valores correspondientes a la diferencia relativa entre las sensibilidades obtenidas por ambas metodologías, obteniendo un único valor por encima del 1%. Esto demuestra la solidez de los resultados obtenidos durante esta campaña de calibración y confirma la adecuada concordancia entre los procedimientos de calibración aplicados. Esta tabla también muestra otro parámetro muy utilizado para comparar las sensibilidades obtenidas por diferentes métodos (o laboratorios) y decidir si son metrológicamente compatibles, el índice de compatibilidad E_n (EA-4/02 M:2022, ISO 9847:2023), el cual

se obtiene según la ecuación 5. En general se consideran metrológicamente compatibles los resultados obtenidos en dos calibraciones cuando los valores de $E_n < 1$ (ISO 9847:2023).

$$E_n = \frac{|S_A - S_B|}{\sqrt{U_A^2 + U_B^2}}$$

Ec. 5

Tabla III. Comparación entre los resultados de la calibración de piranómetros usando las metodologías de ISO 9847:2023 e ISO 9846:2025 (método continuo).

Piranómetro	S [$\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] ISO 9847	U [$\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] ISO 9847	S [$\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] ISO 9846	U [$\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] ISO 9846	N ISO 9846	E_n	Dif (%)
CM11_58847	4.983	0.079	5.019	0.027	2754	0.48	0.71
CM11_830283	5.634	0.090	-	-	-	-	-
CM11_830285	5.058	0.049	-	-	-	-	-
CM11_830286	4.707	0.075	4.734	0.026	2748	0.38	0.57
CM11_830287	4.951	0.079	-	-	-	-	-
CM11_830288	4.754	0.076	4.784	0.026	2754	0.42	0.63
CM11_850897	4.762	0.076	4.797	0.026	2703	0.48	0.71
CM11_955992	5.233	0.083	-	-	-	-	-
CMP11_163812	9.78	0.15	9.862	0.049	2747	0.53	0.79
CMP11_163813	9.26	0.15	9.362	0.047	2729	0.73	1.07
CMP21_110777	9.78	0.15	9.853	0.049	2753	0.53	0.78
CMP21_120924	8.77	0.14	8.831	0.045	2754	0.50	0.74
CMP21_120925	9.42	0.15	9.484	0.048	2754	0.47	0.70
CMP21_120926	9.01	0.14	9.077	0.046	2753	0.47	0.70
CMP21_120927	8.74	0.14	8.809	0.044	2754	0.54	0.80
CMP21_120928	8.68	0.14	8.746	0.044	2754	0.50	0.74
CMP21_140454	8.74	0.14	8.803	0.044	2754	0.52	0.77
CMP21_140455	8.70	0.14	8.764	0.044	2746	0.52	0.78
LiCor	10.190	0.096	10.24	0.051	1768	0.61	0.49
LP02_42055	13.61	0.13	13.65	0.067	2488	0.36	0.29
LP02_42056	11.47	0.18	11.548	0.057	2754	0.48	0.72
SR30_16458	0.990*	0.016	1.000*	0.005	2747	0.68	1.00
SR30_18180	0.991*	0.016	1.001*	0.005	2754	0.61	0.90
SR30_23652	0.991*	0.016	1.001*	0.005	2754	0.65	0.97

* El factor de corrección de los piranómetros SR30-M2-D1 es adimensional.

Los resultados de la Tabla III indican una muy buena concordancia entre las sensibilidades obtenidas por ambos métodos. Es importante mencionar que, debido a la muy baja incertidumbre de las mediciones de DNI con el PMO8, la incertidumbre expandida de los valores de sensibilidad obtenidos mediante la metodología ISO 9846:2025 es considerablemente inferior a la metodología ISO 9847:2023. En la Figura 8 se puede ver la comparación con las barras de error de las sensibilidades obtenidas para cada piranómetro. Sin embargo, es necesario aclarar que para las mediciones de DHI se usó la bola de sombra incorporada en el propio seguidor SOLYS2, que no está diseñada (valores de distancia y diámetro) específicamente para el modelo SR30. Así, los valores de DHI podrían ser ligeramente diferentes si se hubiera usado una bola con un diseño específico según detalla la norma ISO 9846:2025. A pesar de esto, los resultados obtenidos durante esta

campana son similares a los obtenidos por Balenzategui y otros (2025), quienes también obtuvieron sensibilidades más elevadas usando la metodología ISO 9846 que la ISO 9847. Estos autores atribuyen dichas diferencias principalmente a la medición de la DHI, teniendo en cuenta una posible subestimación, así como a efectos de la no linealidad, dado que los piranómetros se calibran midiendo GHI bajo condiciones de alta radiación solar, pero luego son utilizados para medir DHI.

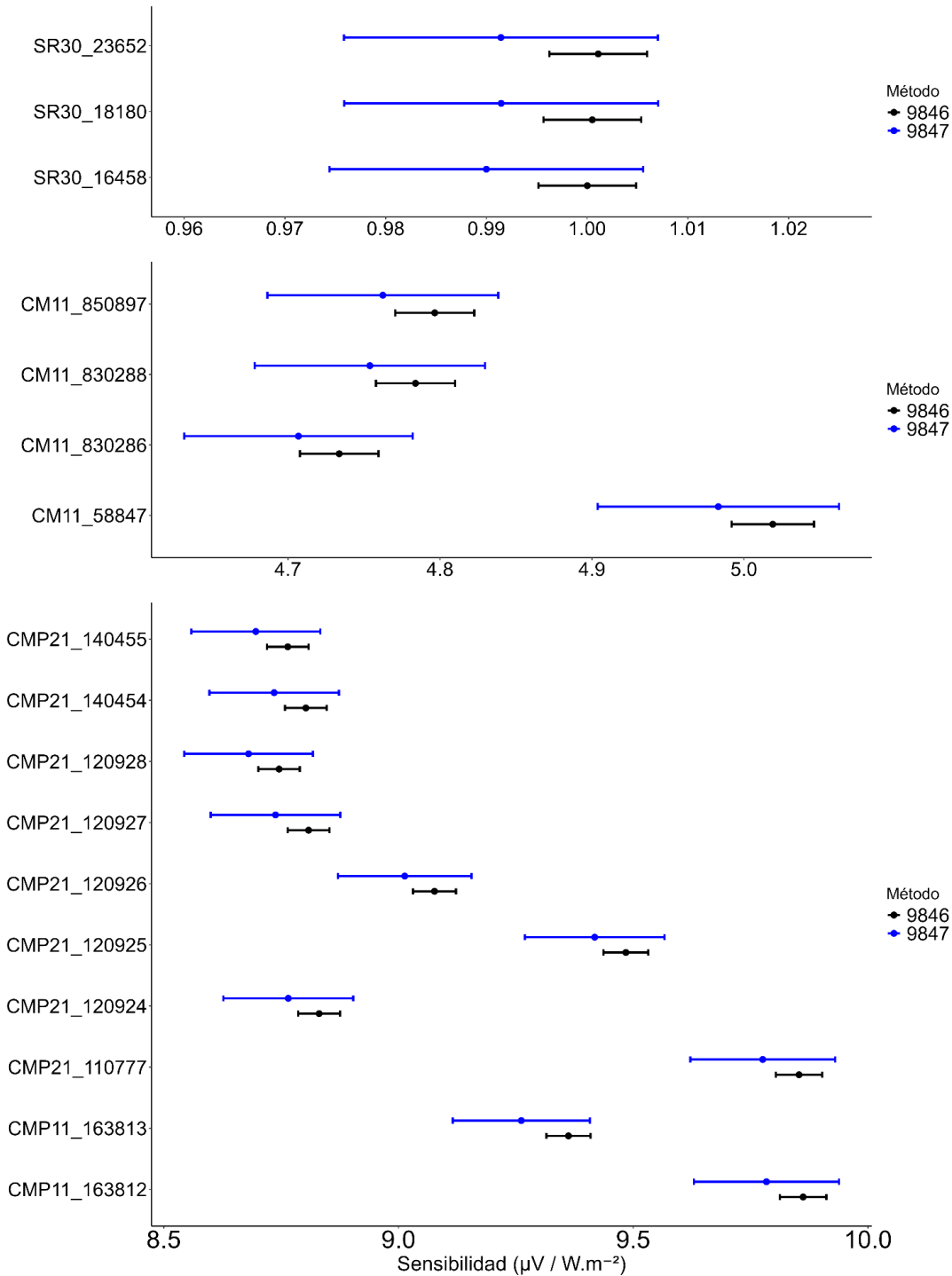


Fig. 8. Sensibilidades e incertidumbres expandidas para cada piranómetro siguiendo las metodologías ISO 9846:2025 e ISO 9847:2023.

En la Tabla IV se presentan las condiciones de temperatura, SZA e irradiancia bajo las cuales se obtuvieron las sensibilidades de cada sensor con la finalidad de conocer el rango de estos parámetros en los que la calibración es válida. Se presentan el valor medio, máximo y mínimo de temperatura, GHI y SZA.

Tabla IV. Condiciones de temperatura, SZA e irradiancia bajo las cuales se calibraron los piranómetros.

Piranómetro	T _{MAX}	T _{MIN}	T _{PROM}	GHI _{MAX}	GHI _{MIN}	GHI _{PROM}	SZA _{MAX}	SZA _{MIN}	SZA _{PROM}
CM11_58847	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.5	60.0	13.4	35.8
CM11_830283	32.4	14.7	24.6	1091.0	489.7	823.3	60.0	14.2	38.9
CM11_830285	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	844.0	60.0	13.4	35.7
CM11_830286	32.4	14.7	24.6	1091.0	489.7	823.3	60.0	14.2	38.9
CM11_830287	31.6	16.6	25.5	1075.1	531.9	898.4	60.0	17.3	32.7
CM11_830288	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	847.7	60.0	13.4	35.5
CM11_850897	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.2	60.0	13.4	35.8
CM11_955992	31.6	16.2	24.9	1075.1	487.8	865.8	60.0	17.3	35.0
CMP11_163812	32.4	14.7	24.6	1091.0	489.7	824.4	60.0	14.2	38.8
CMP11_163813	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.5	60.0	13.4	35.8
CMP21_110777	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	842.8	60.0	13.4	35.8
CMP21_120924	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	842.3	60.0	13.4	35.8
CMP21_120925	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	844.0	60.0	13.4	35.7
CMP21_120926	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.4	60.0	13.4	35.8
CMP21_120927	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.6	60.0	13.4	35.8
CMP21_120928	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	842.8	60.0	13.4	35.8
CMP21_140454	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.0	60.0	13.4	35.8
CMP21_140455	32.4	14.7	24.6	1091.0	489.7	823.3	60.0	14.2	38.9
LiCor	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	842.8	60.0	13.4	35.8
LP02_42055	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	843.0	60.0	13.4	35.8
LP02_42056	33.6	14.7	25.2	1092.3	470.4	850.7	60.0	13.4	35.6
SR30_16458	32.4	14.7	24.6	1091.0	489.7	823.3	60.0	14.2	38.9
SR30_18180	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	844.3	60.0	13.4	35.7
SR30_23652	33.6	14.7	25.6	1092.3	467.2	842.2	60.0	13.4	35.8

Finalmente, los valores de AOD_500nm durante los días en los que se midió DNI se presentan en la Fig. 9, donde se puede ver que los valores son muy bajos, significativamente inferiores al límite del 0.12 mencionado anteriormente, denotando condiciones de cielo límpidas y aptas para calibraciones de radiación solar.

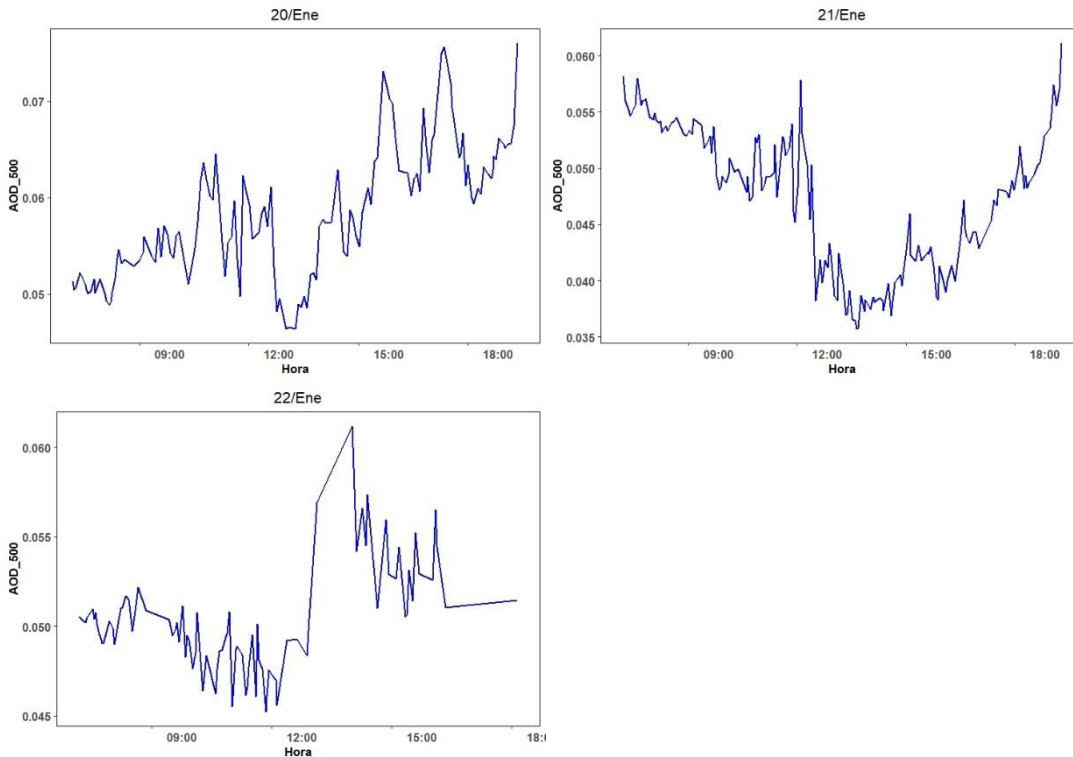


Fig. 9. Mediciones de AOD500 obtenidas en Villa Martelli los días 20 a 22 de enero.

5. CONCLUSIONES

La campaña de calibración de piranómetros realizada en el Observatorio Central de Buenos Aires entre el 13 de enero y el 10 de febrero de 2026 permitió actualizar la sensibilidad de 24 instrumentos pertenecientes a la red solarimétrica del SMN y CITEDEF. Las calibraciones se realizaron siguiendo los lineamientos de las normas ISO 9847:2023 e ISO 9846:2025, utilizando como referencia un piranómetro calibrado en PMOD/WRC y un pirheliómetro absoluto de cavidad PMO8 con trazabilidad directa a la World Radiometric Reference. De esta manera, se asegura la adecuada transferencia de la escala radiométrica internacional a los instrumentos que operan en la red.

Los resultados obtenidos muestran una alta consistencia con las sensibilidades previamente disponibles para los sensores, con diferencias generalmente inferiores al 1% y un máximo observado de 3.1% solo para uno de los instrumentos. Asimismo, las incertidumbres expandidas obtenidas mediante el método comparativo de la norma ISO 9847:2023 fueron menores al 1.6% en todos los casos, evidenciando la robustez del procedimiento aplicado y la adecuada cantidad de datos utilizados para la determinación de las sensibilidades.

La comparación entre los resultados obtenidos mediante las metodologías ISO 9847:2023 e ISO 9846:2025 mostró una muy buena concordancia entre ambos procedimientos. Las diferencias relativas entre sensibilidades fueron en general menores al 1% y los valores del índice de compatibilidad E_n resultaron inferiores a la unidad en todos los casos analizados, lo cual indica compatibilidad metrológica entre los métodos aplicados.

Durante el análisis también se identificaron algunos aspectos instrumentales relevantes, particularmente relacionados con la ausencia o deterioro de burbujas niveladoras en varios piranómetros, lo cual puede afectar la estabilidad de las sensibilidades instantáneas en función del ángulo cenital solar. Asimismo, en algunos sensores se observaron dependencias con la temperatura asociadas a sus características instrumentales o a

las condiciones de operación. Estos resultados resaltan la importancia de mantener adecuados procedimientos de mantenimiento, nivelación y control operativo en las estaciones de medición.

En conjunto, la campaña permitió fortalecer la trazabilidad metrológica y la consistencia de las mediciones de irradiancia solar de la red solarimétrica del SMN, contribuyendo a mejorar la calidad de las series de datos utilizadas tanto en aplicaciones operativas como en estudios científicos del recurso solar en Argentina.

6. REFERENCIAS

Balenzategui, J.L., Molero, M., Silva, J.P., Fabero, F., Cuenca, J., Mejuto, E., De Lucas, J., 2022: Uncertainty in the Calibration Transfer of Solar Irradiance Scale: From Absolute Cavity Radiometers to Standard Pyrheliometers. *Solar* 2022, 2, 158-185. <https://doi.org/10.3390/solar2020010>

Balenzategui J.L., Fabero F., Mejuto E., Silva J.P., Cuenca J., Martín R., 2025: Comparación entre Métodos de Calibración de Piranómetros en Exterior Conforme a la Norma ISO 9846. Libro de Actas del XIX Congreso Ibérico y XV Congreso Iberoamericano de Energía Solar 2025 (Évora, Portugal), pp. 1018-1030. <https://www.cies-congreso.org/102363/section/63335/xix-congreso-iberico-y-xv-congreso-iberoamericano-de-energia-solar.html>

European co-operation for Accreditation, 2022: *EA-4/02 M:2022: Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration* (Rev. 03). European co-operation for Accreditation.

ISO 9059, 2025: Solar energy- Calibration of field pyrheliometers by comparison to a reference pyrheliometer.

ISO 9060, 2018: Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation

ISO 9846, 2025: Solar energy- Calibration of a pyranometer using a pyrheliometer.

ISO 9847, 2023: Solar energy- Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer.

JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections). Joint Committee for Guides in Metrology.

Nollas, F., J. Lell, 2024: Calibración de un piranómetro de referencia del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2024-158. <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2658?show=full>

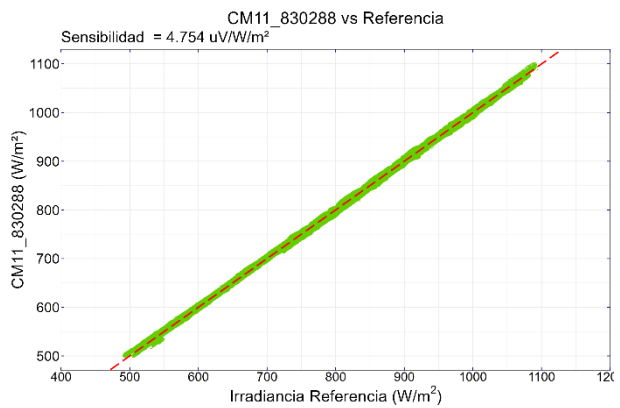
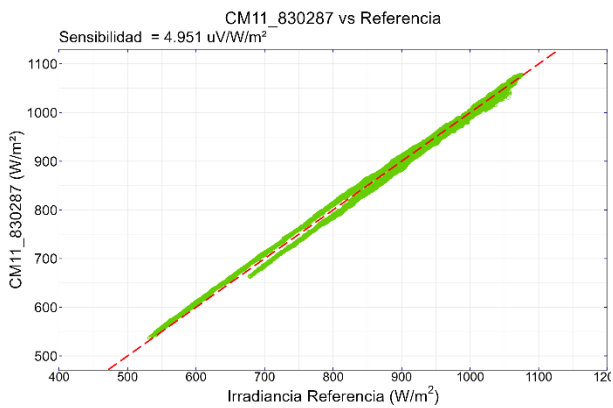
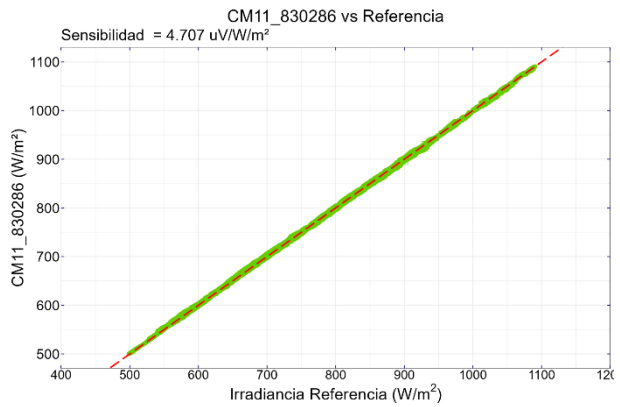
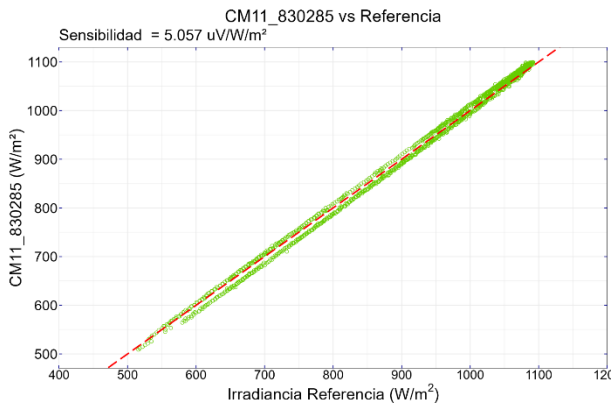
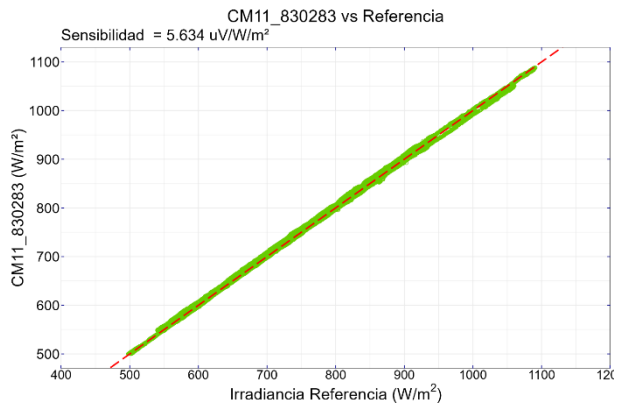
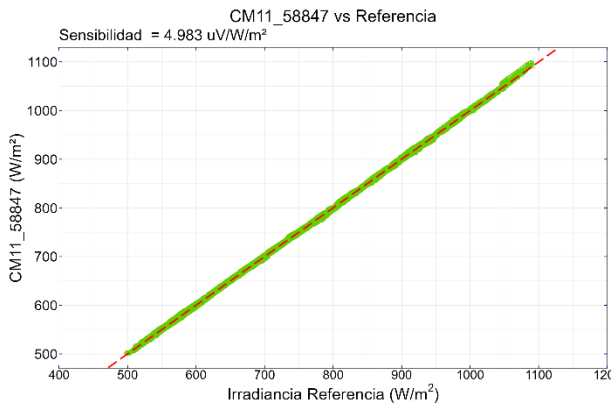
Reda, I., A. Andreas, 2004: Solar position algorithm for solar radiation applications, *Solar Energy*. 76 (2004) 577–589. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.12.003>.

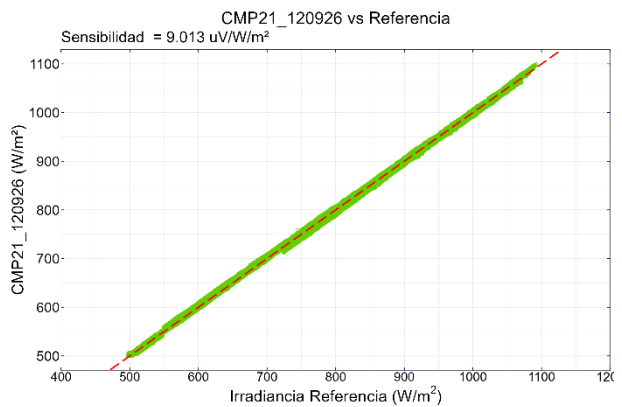
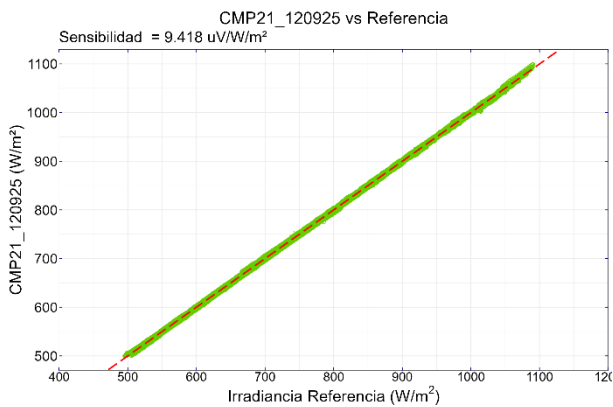
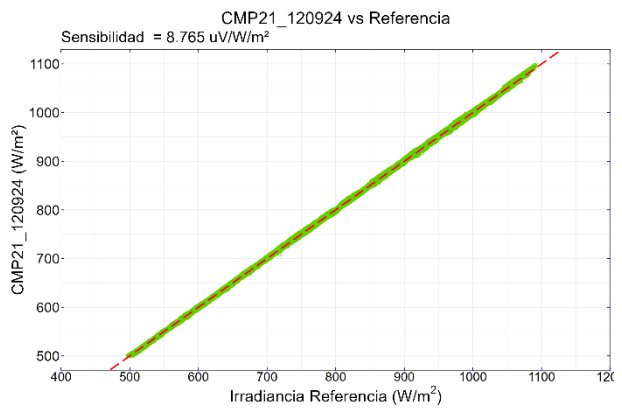
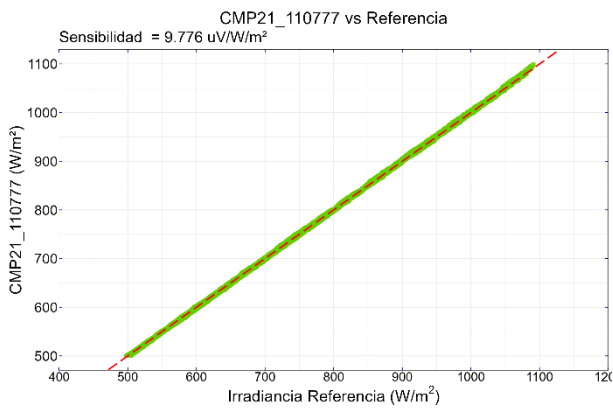
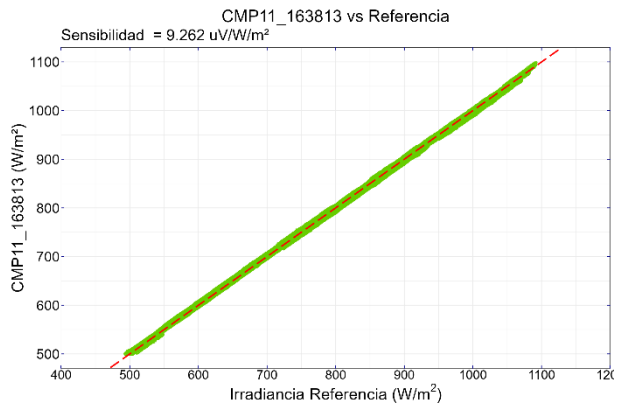
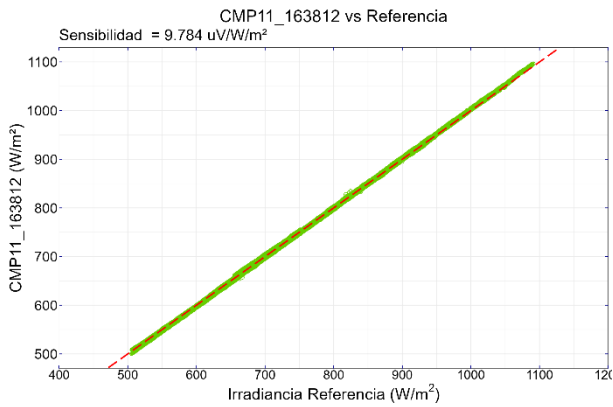
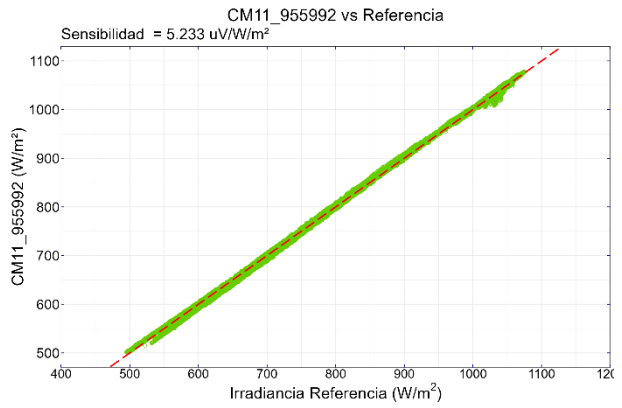
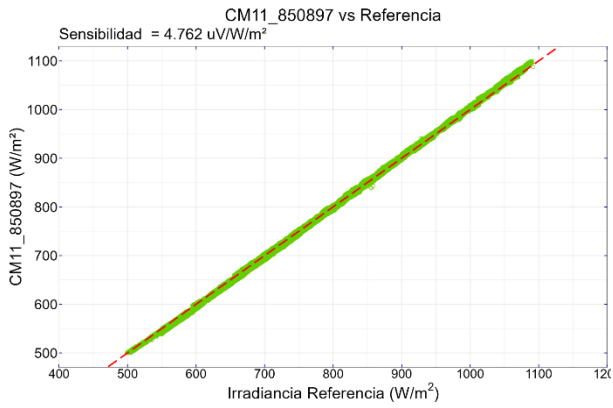
Reda, I., A. Andreas, 2007: Corrigendum to “Solar position algorithm for solar radiation applications” [*Solar Energy* 76 (2004) 577-589], *Solar Energy*. 81 (2007) 838. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.01.003>.

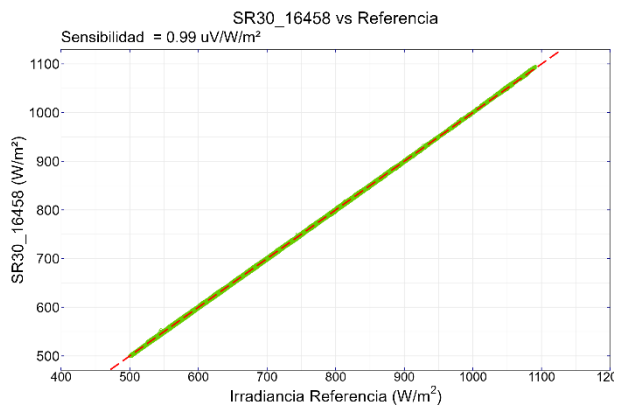
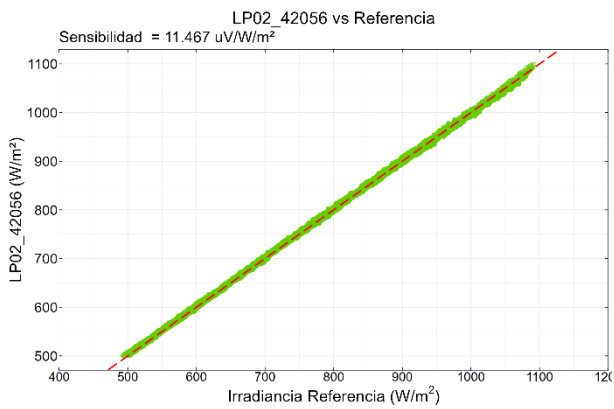
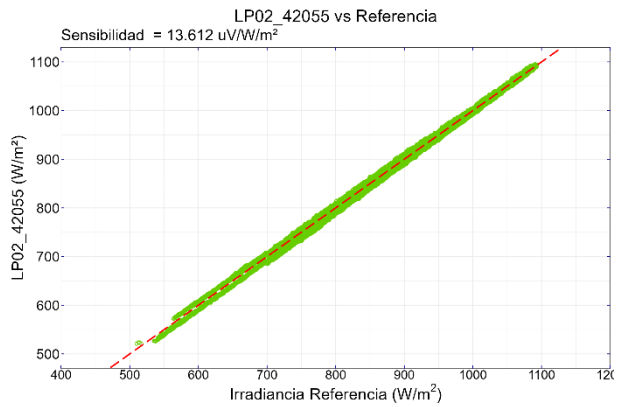
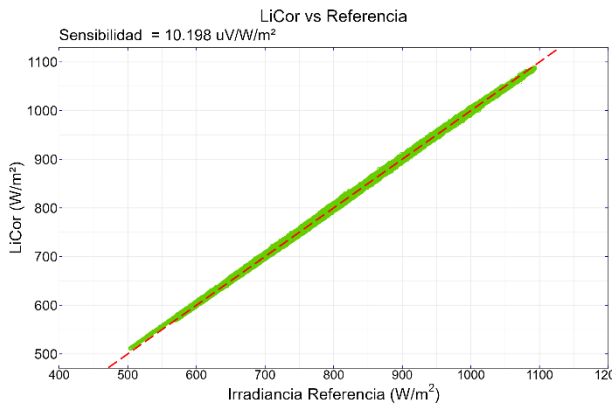
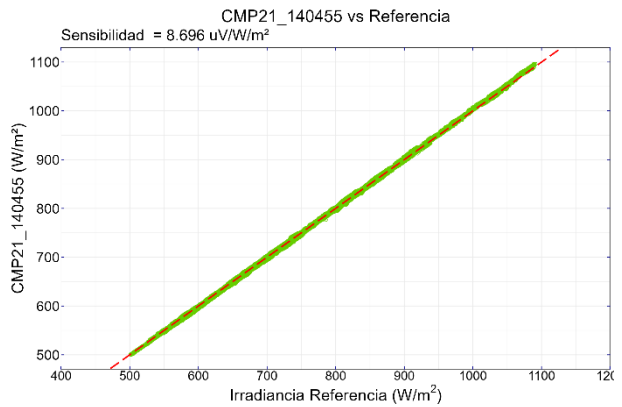
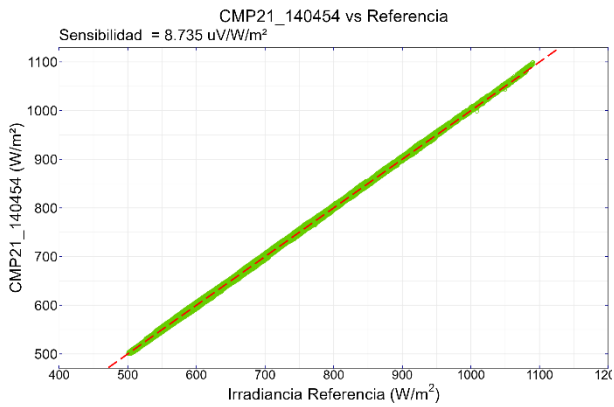
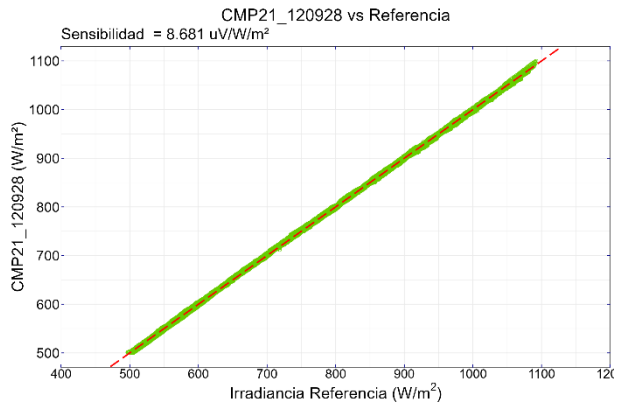
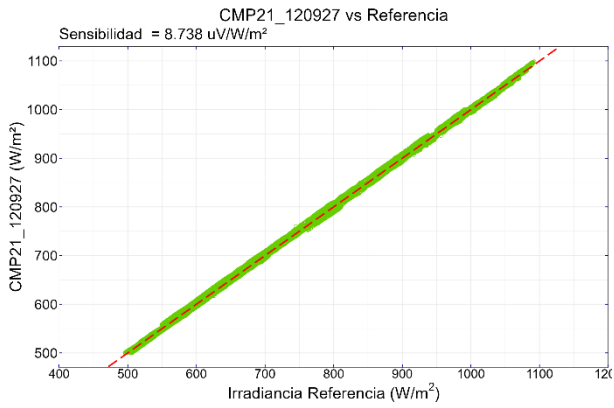
Reno, M. J., y Hansen, C. W., 2016: Identification of periods of clear sky irradiance in time series of GHI measurements. *Renewable Energy*, 90, 520–531. doi:10.1016/j.renene.2015.12.031

Rigollier, C., Bauer, O., y Wald, L., 2000: On the clear sky model of the ESRA — European Solar Radiation Atlas with respect to the heliosat method. *Solar Energy*, 68(1), 33–48. doi:10.1016/s0038-092x(99)00055-9

ANEXO A: Comparación de la irradiancia medida por el piranómetro de referencia y la obtenida por los piranómetros calibrados

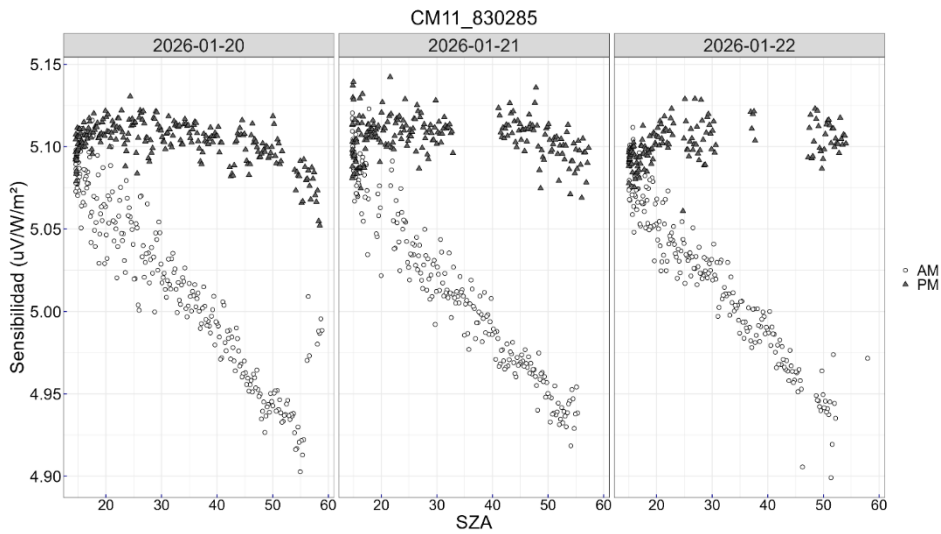
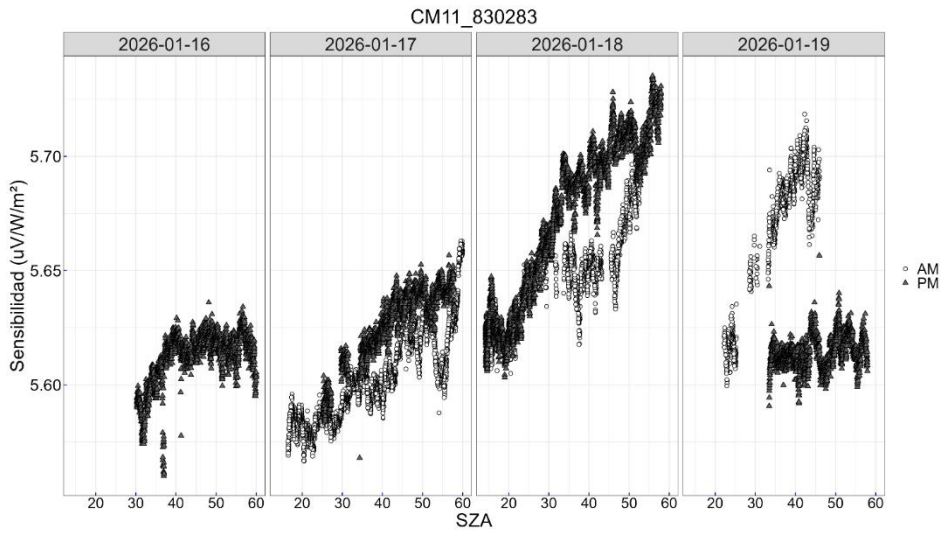
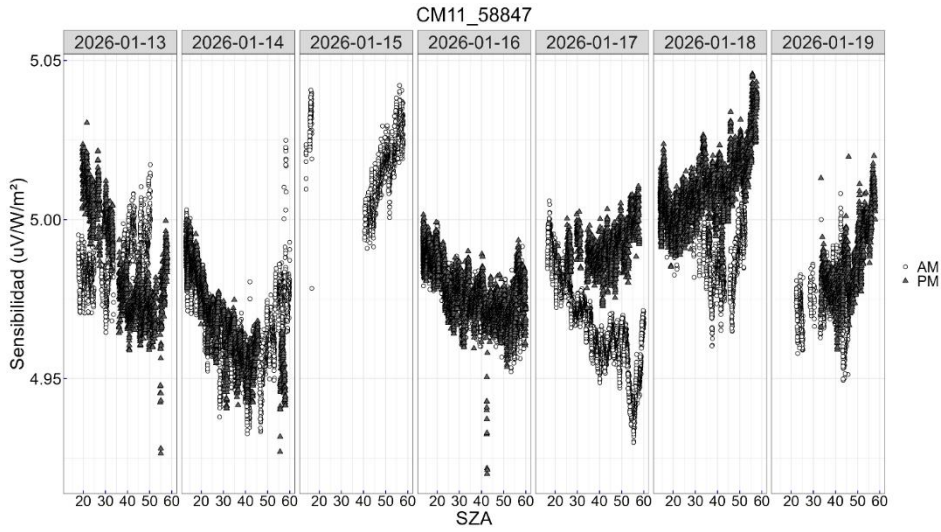


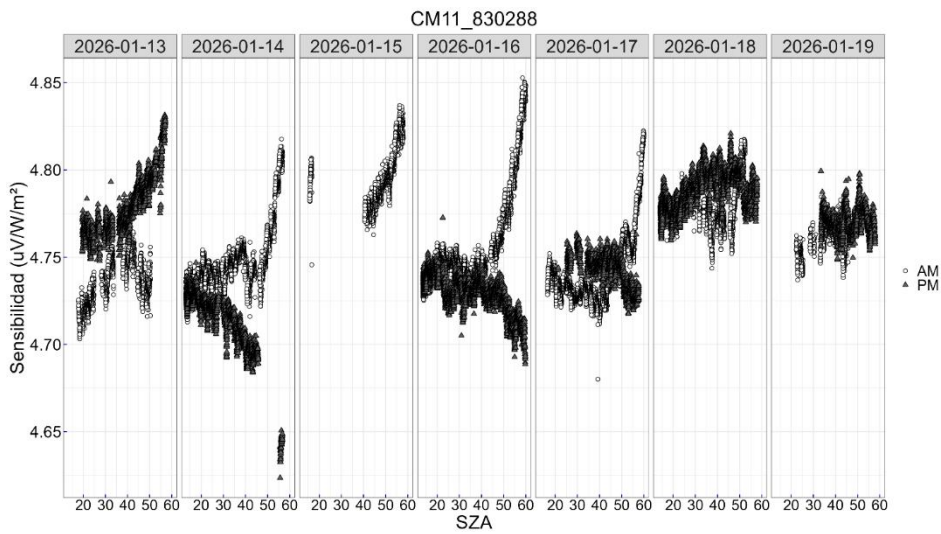
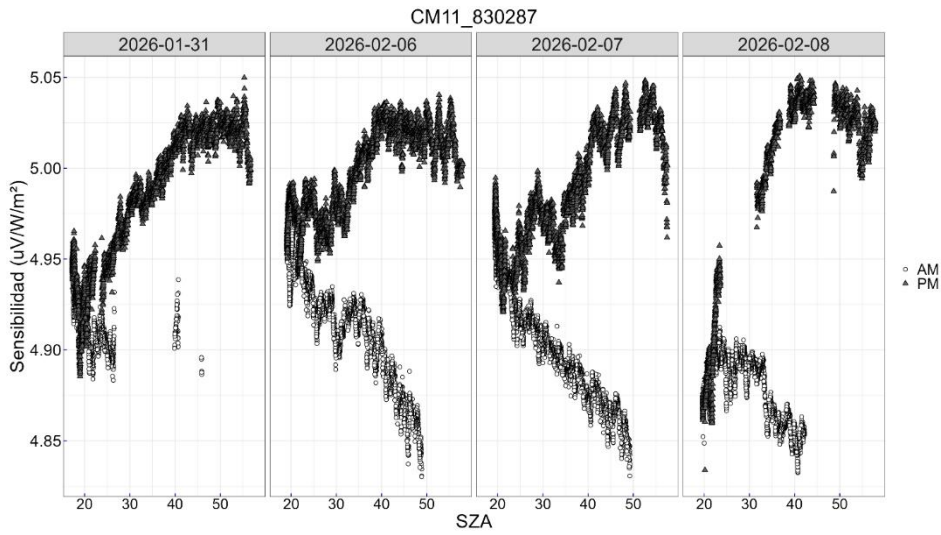
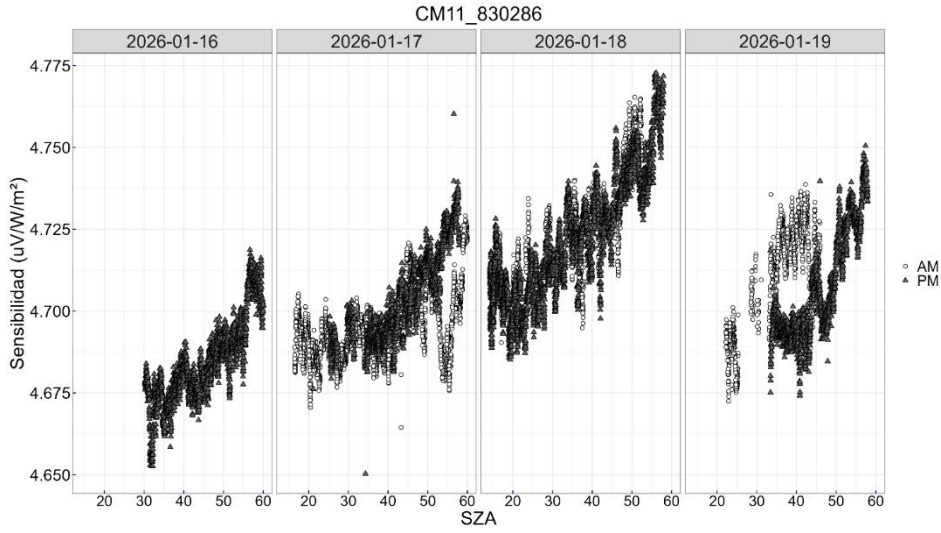


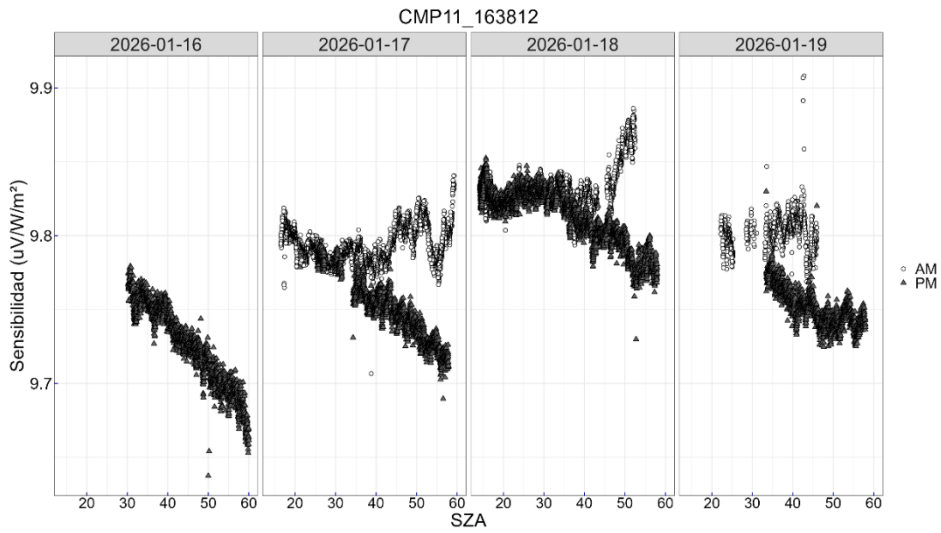
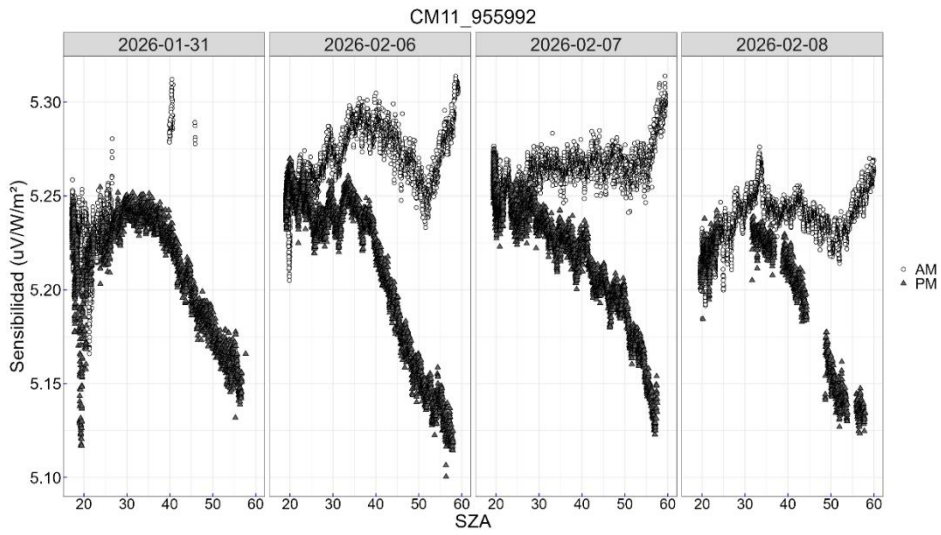
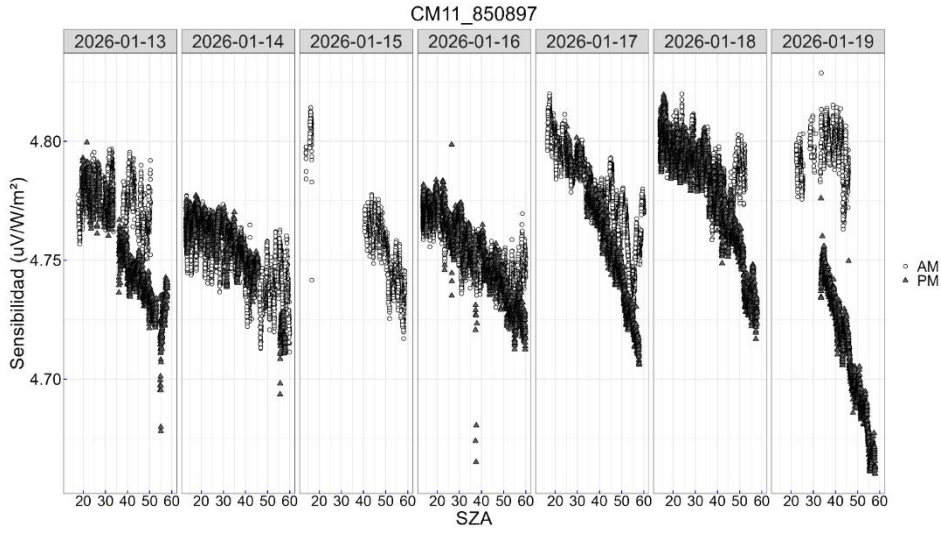


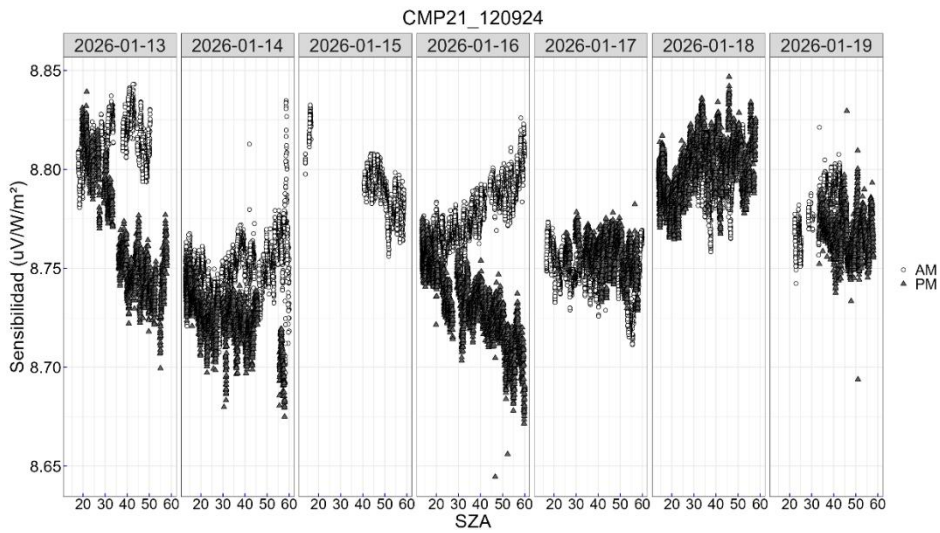
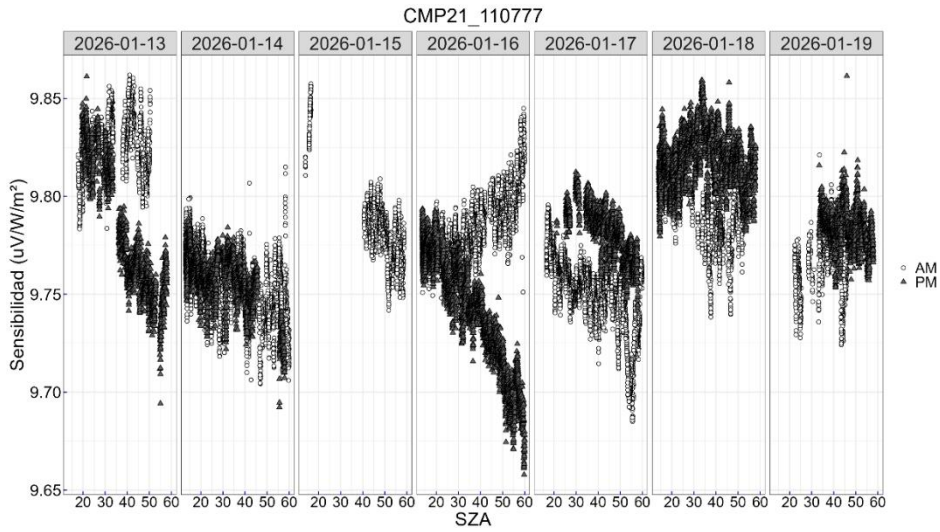
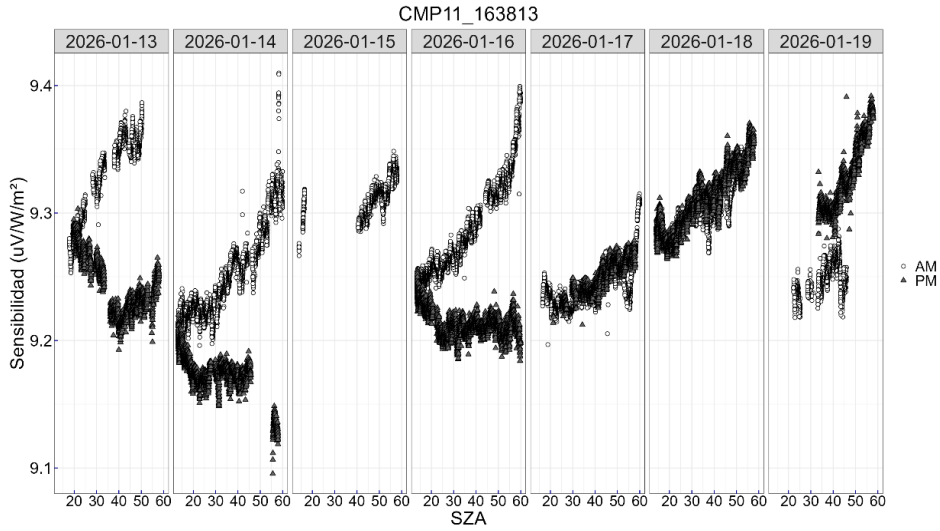


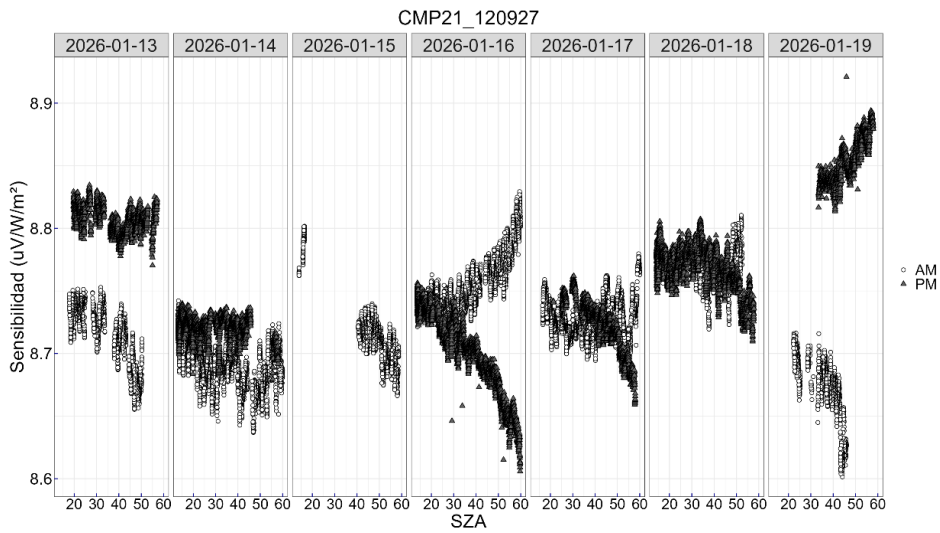
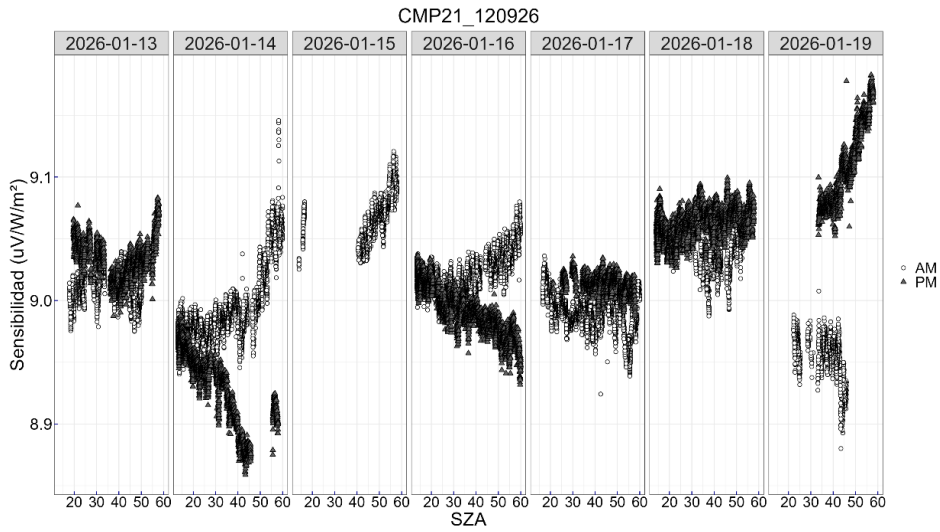
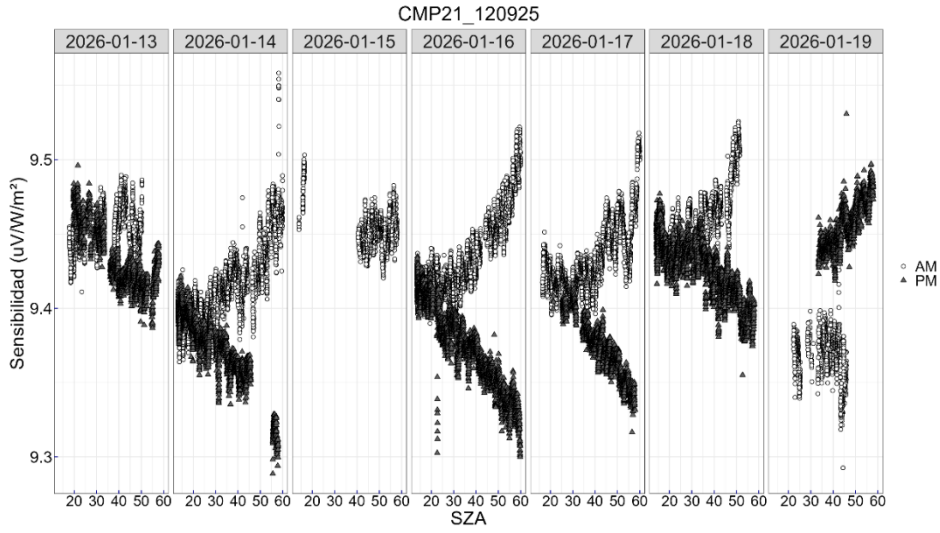
ANEXO B: Sensibilidades instantáneas en función de SZA.

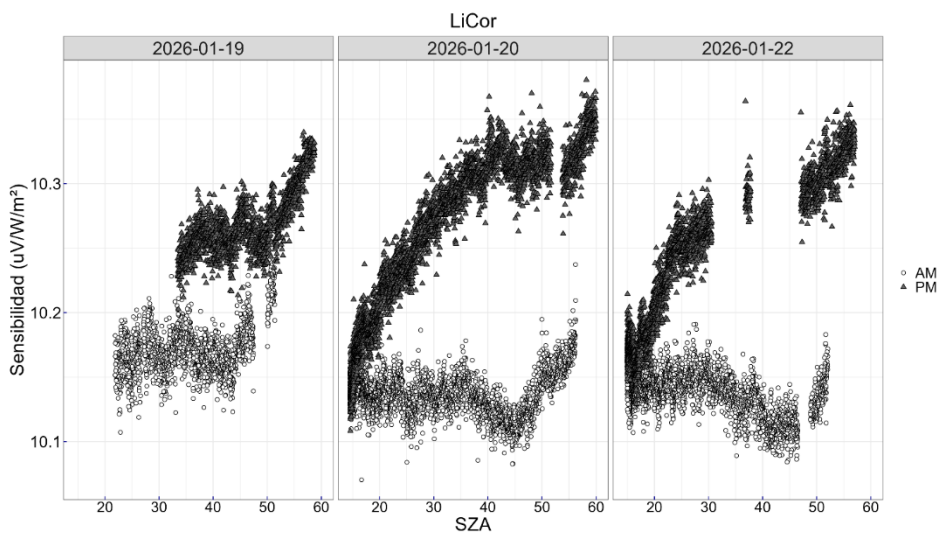
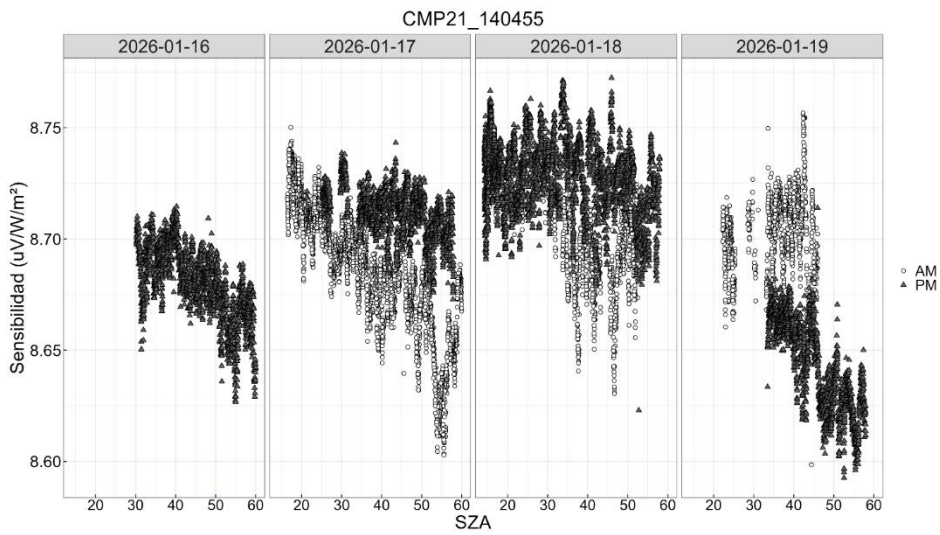
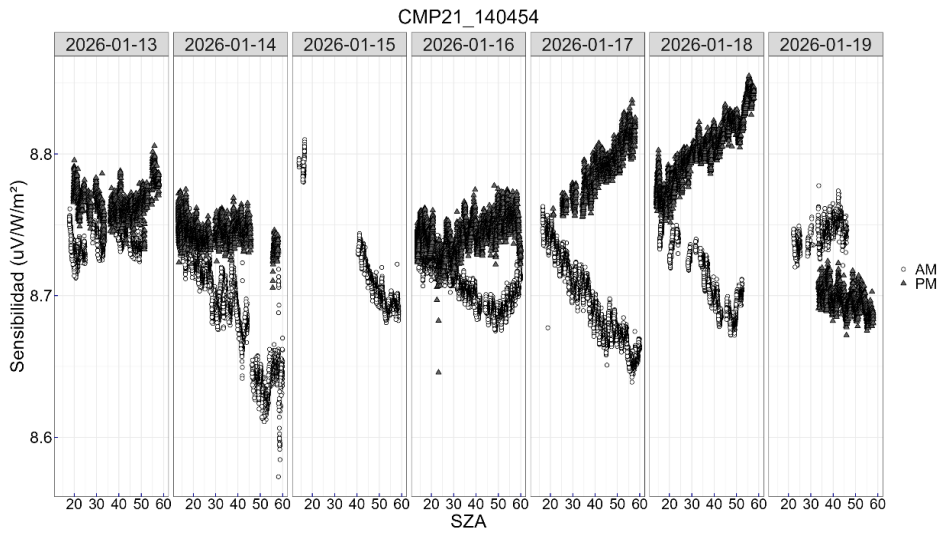


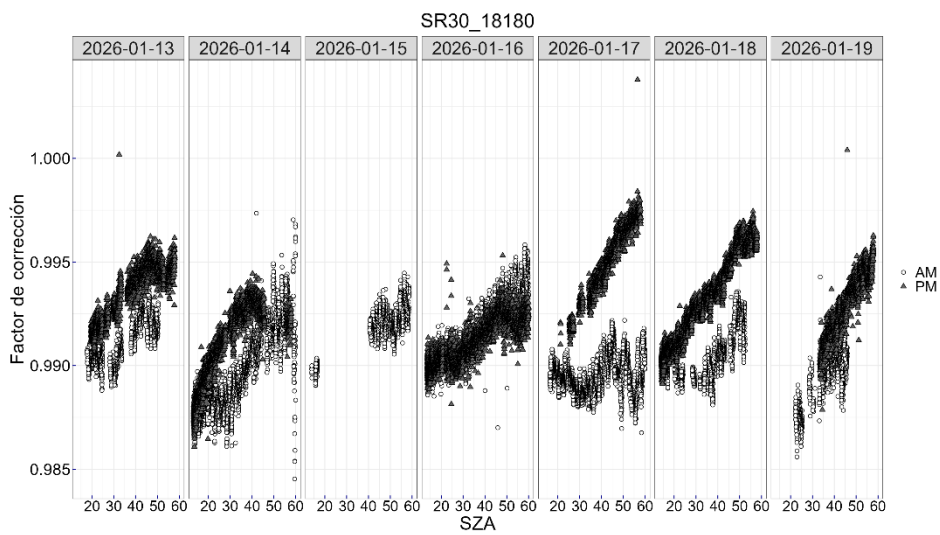
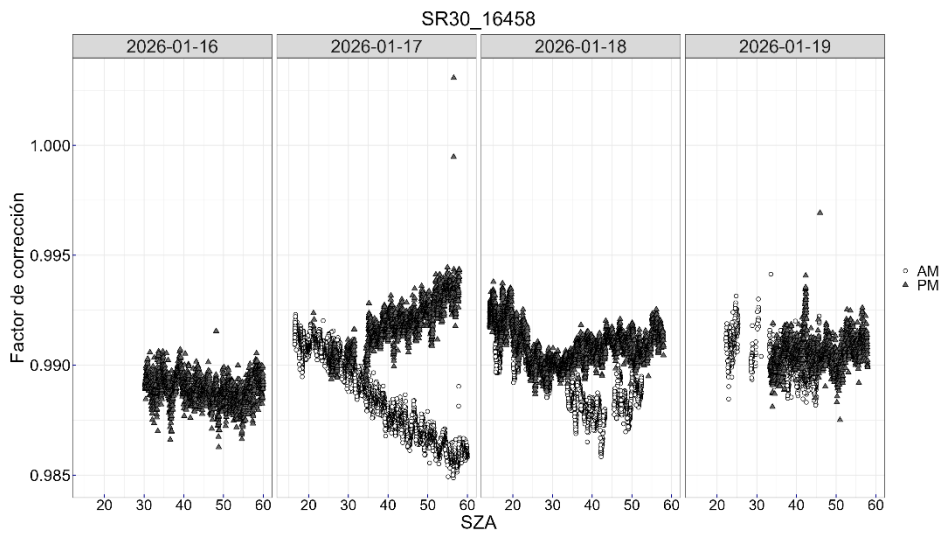
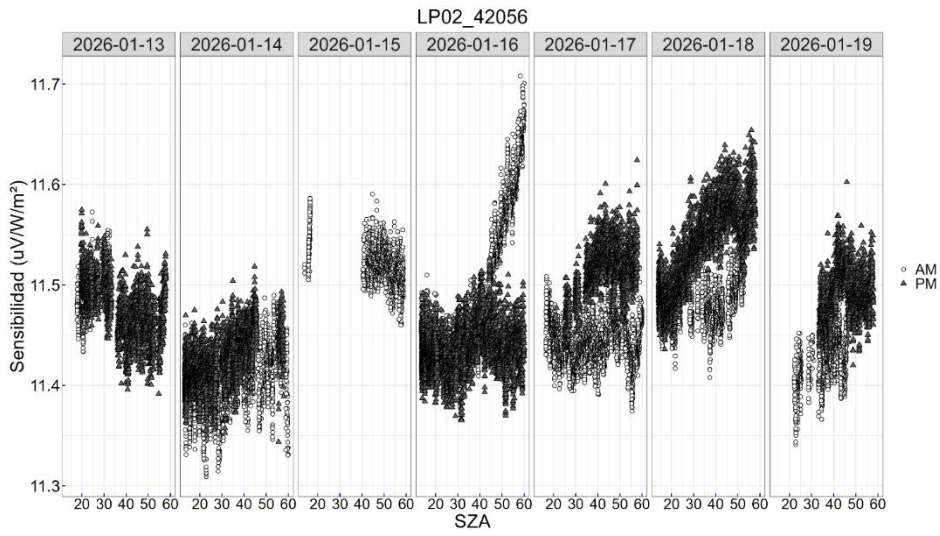


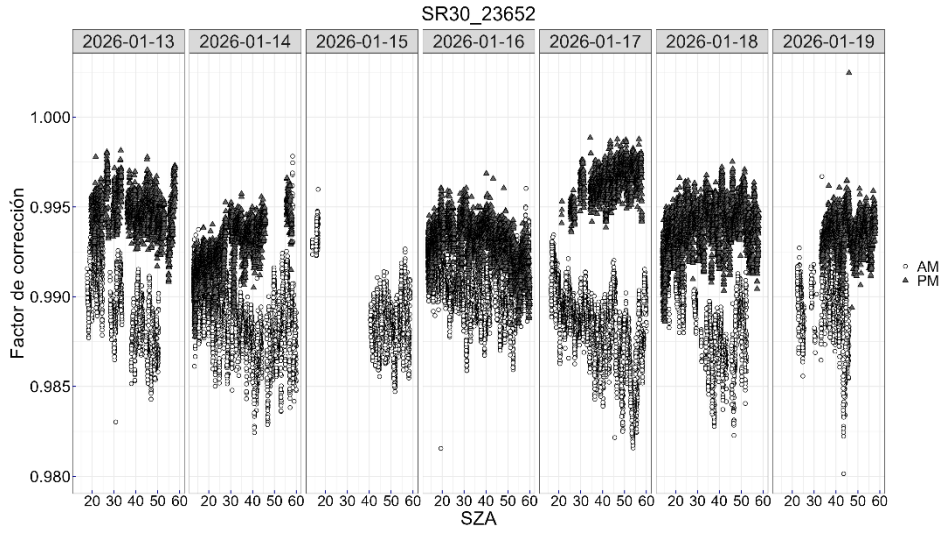




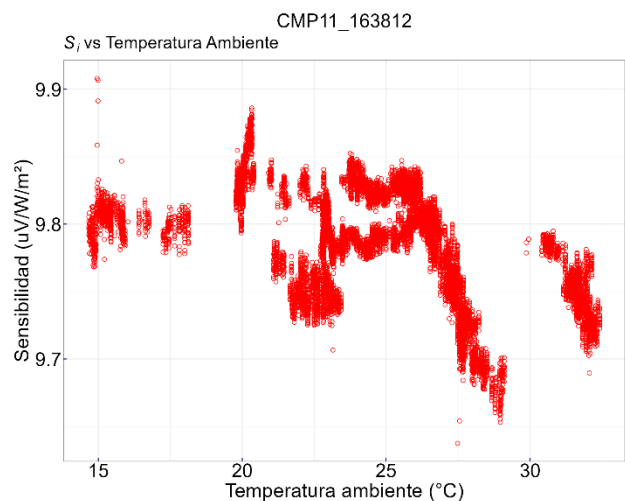
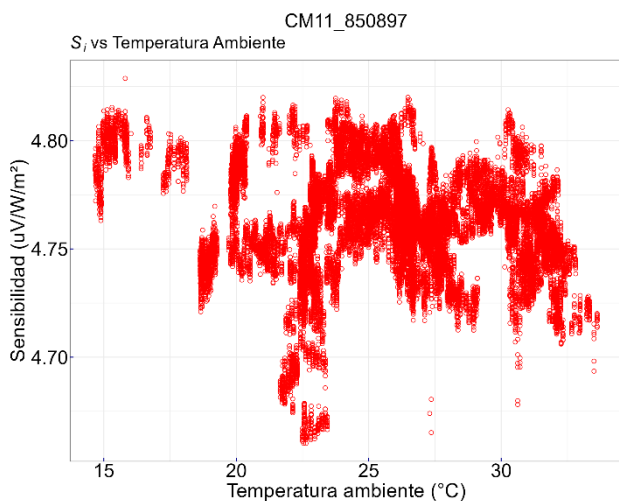
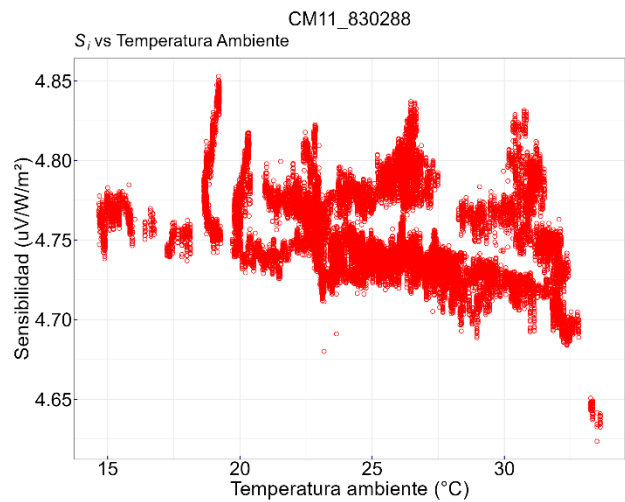
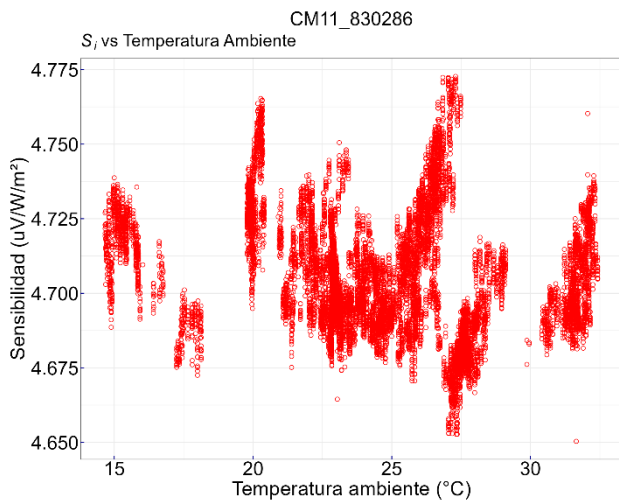
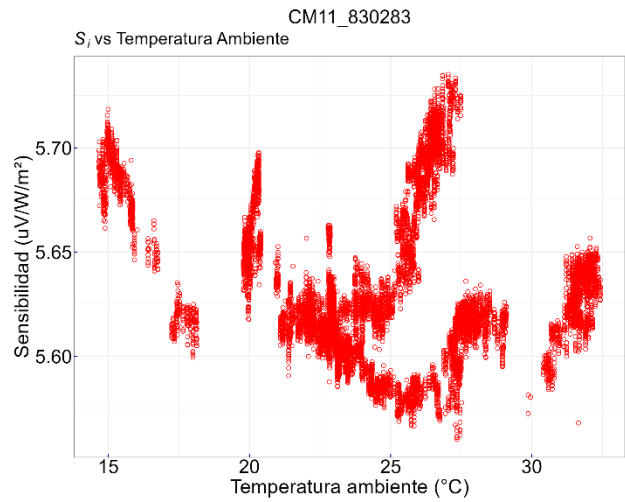
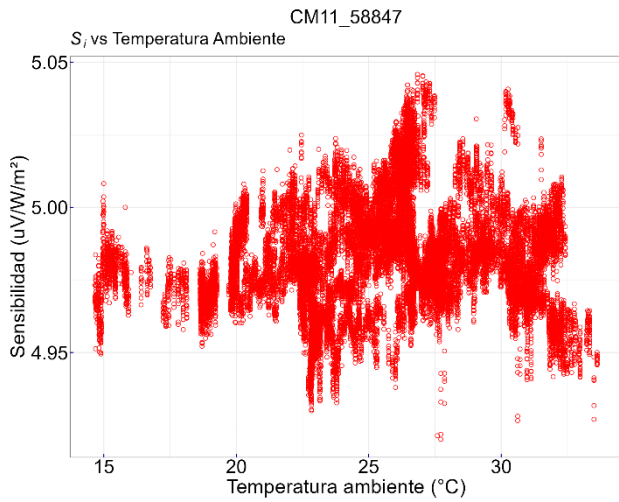


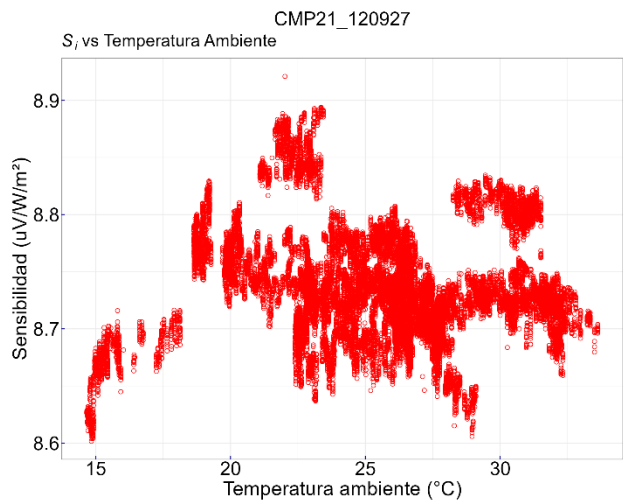
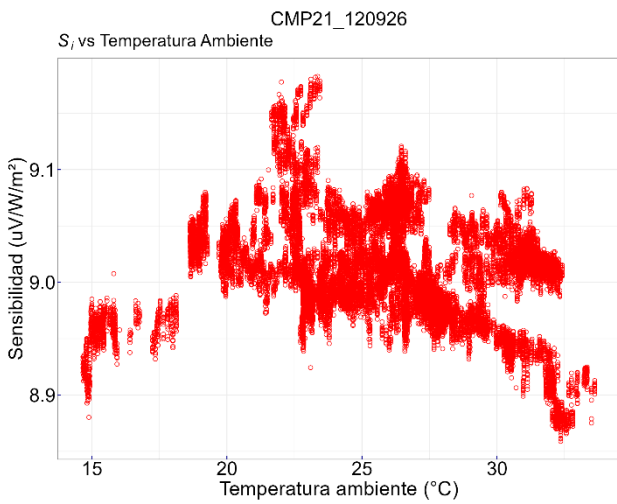
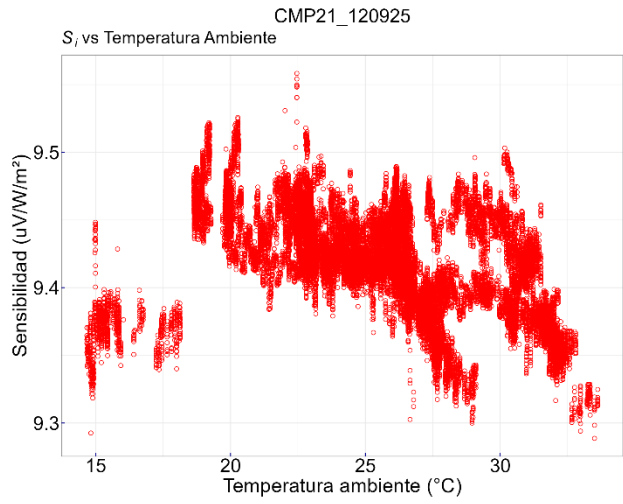
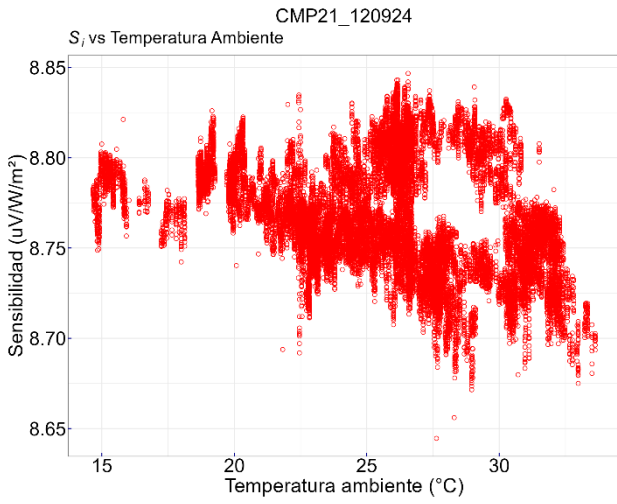
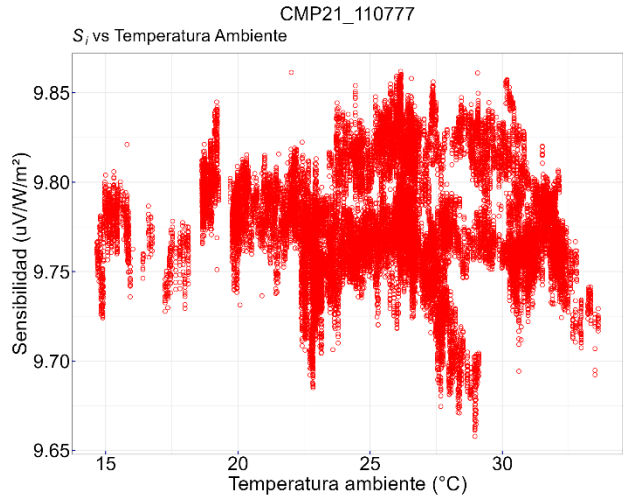
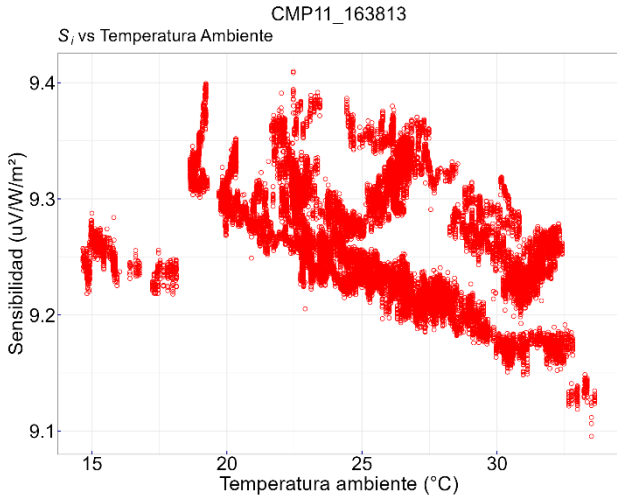


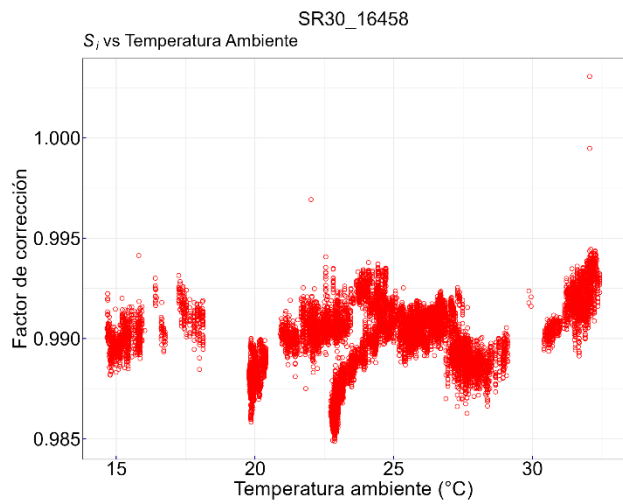
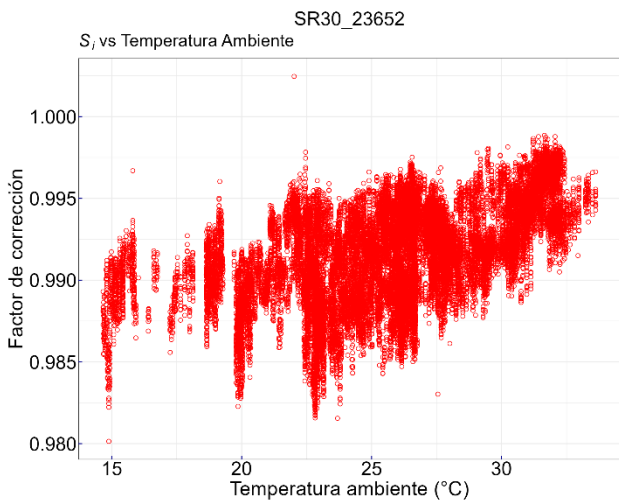
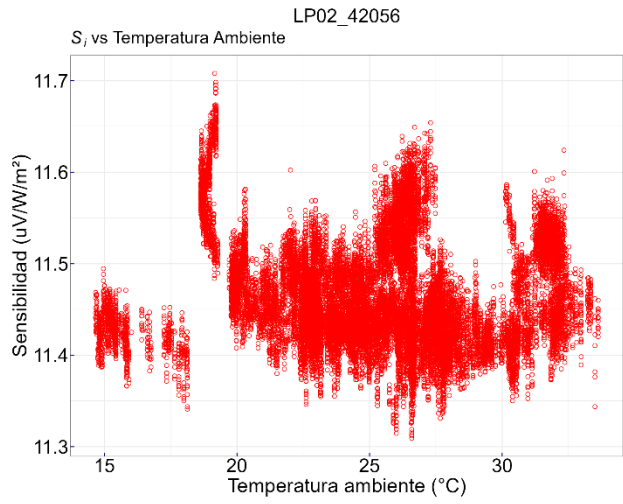
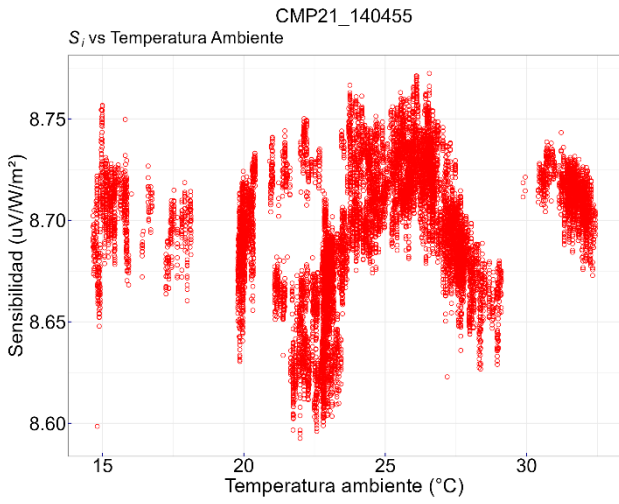
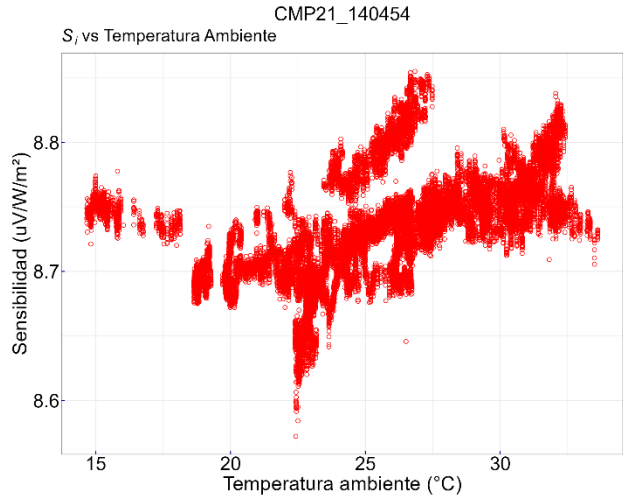
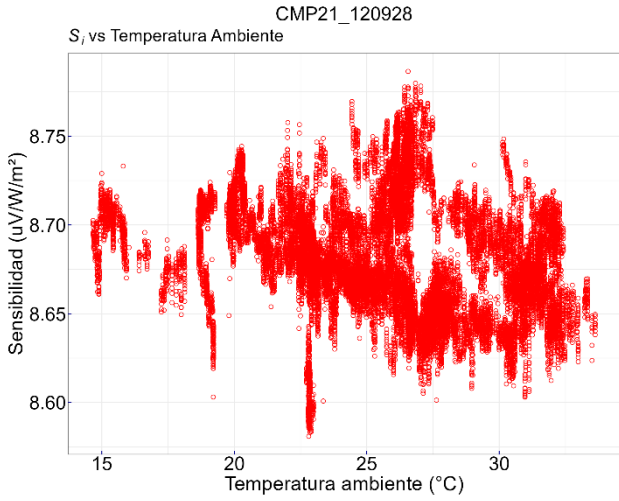


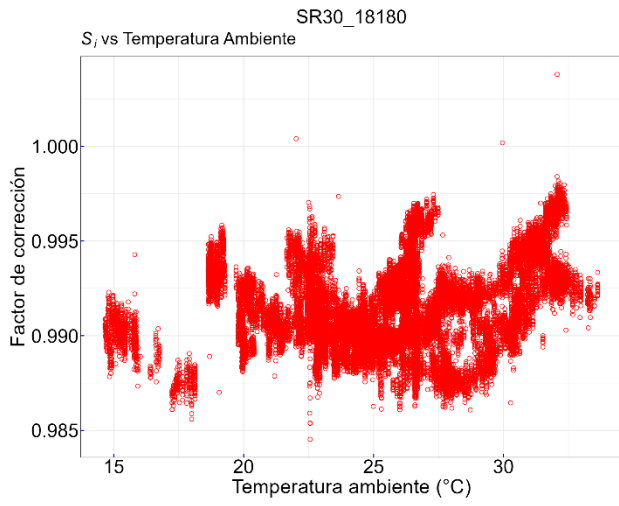


ANEXO C: Sensibilidad en función de la temperatura ambiente









Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).