

## NOTA TÉCNICA

### Calibración de pluviómetro y termohigrómetros de estaciones meteorológicas automáticas

### Calibration of rain gauge and thermohygrometers in automated weather stations

Alberto Chassaigne\*, Manuel Ávila y Jesús Madriz

Trabajo presentado en el III Congreso Venezolano de Agrometeorología, San Felipe, Yaracuy, Julio 2012.

Fundación para la Investigación Agrícola (Danac). San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela.

Correo electrónico: alberto.chassaigne@danac.org.ve\*, manuel.avila@danac.org.ve, jesus.madriz@danac.org.ve

#### RESUMEN

En Venezuela diferentes unidades de producción e instituciones de investigación han incorporado estaciones meteorológicas automáticas (EMA) dentro de sus sistemas, por ello se hace necesario verificar su calibración periódicamente y así asegurar la confiabilidad de sus resultados. El objetivo del presente trabajo fue verificar la calibración de un pluviómetro PCR800 (Marca Oregon) y termohigrómetros de tres estaciones meteorológicas modelo WMR200A (Marca Oregon) antes de su instalación. En el pluviómetro se aplicaron pruebas estáticas y dinámicas y en los termohigrómetros THGN801 se aplicaron pruebas por ajuste de temperatura en estufa cuyos resultados fueron comparados con un termohigrómetro calibrado. En el pluviómetro la prueba estática indicó que las diferencias encontradas entre la lámina añadida y la lámina registrada para todos los niveles no fueron significativas ( $P < 0,025$ ); mientras que la prueba dinámica indicó una diferencia máxima de lámina de 3 mm de la estación inalámbrica con respecto al pluviómetro convencional usado como referencia. En los termohigrómetros las diferencias de temperatura y humedad relativa con respecto al estándar no superaron las tolerancias del equipo y tampoco se encontraron variaciones significativas ( $P < 0,025$ ). Se verificó que las calibraciones del pluviómetro y de los termohigrómetros estaban conformes a las tolerancias indicadas por los fabricantes para un amplio rango de niveles de precipitación, temperatura y humedad relativa.

**Palabras clave:** metrología, instrumentos climatológicos, sensores remotos.

#### ABSTRACT

In Venezuela farms and research institutes have incorporated Automatic Weather Stations (EMA, acronym in spanish) in their systems, which require calibration periodically to ensure reliability of results. The aim of this work was to verify the calibration of a rain gauge PCR800 (Brand Oregon) and three thermohygrometers WMR200A (Brand Oregon) before installation. Static and dynamic tests were applied in the rain gauge. The thermohygrometers THGN801 were calibrated by adjusting temperature in oven and the results were compared with a calibrated thermohygrometer. The rain gauge static test indicated that the differences between the added water and water recorded for all levels were not significant ( $P < 0.025$ ); while the dynamic test indicated a maximum difference of 3 mm between wireless rain gauge and conventional one, used as reference. Thermohygrometers differences in temperature and relative humidity with respect to standard did not exceed tolerances of the equipment and showed no significant variations ( $P < 0.025$ ). It was verified that the calibration of the gauge and the thermohygrometers were conformed to the tolerances stated by manufacturers for a wide range of levels of precipitation, temperature and relative humidity.

**Key words:** metrology, weather instruments, wireless.

## INTRODUCCIÓN

En Venezuela a partir de 1960 iniciaron estudios asociados a los efectos de la variabilidad espacial del clima sobre la producción agrícola, más particularmente en maíz y sus principales zonas de producción (Cabrera, 2000). Como el maíz se produce mayormente en secano, la distribución de las lluvias (precipitación) y su efecto sobre temperatura, insolación, radiación, humedad relativa, es considerada uno de los factores más importantes (Rodríguez, 2000).

Las prácticas agronómicas que integran el estudio de los registros de las condiciones ambientales, durante el ciclo de cultivo de este rubro, contribuyen a la reducción de riesgos y pérdidas económicas generadas por eventos climáticos con lo que se asegura el incremento de la producción y especialmente de la productividad (Azkue *et al.*, 2004).

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), en los últimos años, ha trabajado en diferentes proyectos con el fin de actualizar la plataforma tecnológica para la recolección y gestión de datos meteorológicos mediante la sustitución de estaciones meteorológicas convencionales, ubicadas en diferentes zonas del país, por estaciones meteorológicas automáticas (EMA; AVN, 2013).

Las EMA facilitan obtener datos de parámetros meteorológicos por medio de sensores electrónicos (UNA, 2012), que disminuyen el requerimiento de mano de obra y generan nuevas aplicaciones que apoyan los procesos productivos (Franco, 2006). Las EMA ocupan poco espacio, almacenan y transfieren los datos del clima, lo cual permite valorar su comportamiento y posible impacto.

En la actualidad diferentes unidades de producción e instituciones de investigación han incorporado las EMA dentro de sus actividades, sin embargo, una vez instaladas es necesario verificar que están calibradas, para asegurar la confiabilidad de los resultados generados, sobre todo cuando provienen de países de otras latitudes, donde su traslado y manejo pudieran ocasionar desajustes.

El objetivo del trabajo fue verificar la calibración de un pluviómetro y termohigrómetros de tres estaciones meteorológicas modelo WMR200A (Oregon Scientific, 2009) antes de su instalación, adaptando una metodología sencilla.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un pluviómetro y tres termohigrómetros de tres estaciones meteorológicas WMR200A (Oregon Scientific, 2009).

El pluviómetro PCR800 (Oregon Scientific, 2009) presenta las siguientes características: dimensiones 114 x 114 x 145 mm, peso 241 g, resolución 1 mm/h. Tolerancias: para valores inferiores a 15 mm/h una variación máxima de  $\pm 1$  mm; y para valores comprendidos entre 15 y 9.999 mm una variación máxima de  $\pm 7$  mm (Oregon Scientific, 2009). El diámetro de la boca del pluviómetro es de 100 mm y el área de captación de 78,54 cm<sup>2</sup>.

El funcionamiento del pluviómetro se basa en la recolección del agua en un receptor de captación que luego la dirige a un colector tipo balancín que consta de dos cavidades. El agua se va acumulando en una de las cavidades y al alcanzar cierto peso realiza un movimiento de descarga que permite exponer la siguiente cavidad a la colección de agua y activar un pulso eléctrico que envía una señal de registro, cada pulso eléctrico equivale a una lámina de agua de 1 mm.

Para verificar el pluviómetro se realizó una adaptación de los métodos de calibración estática y dinámica descritos por Campbell Scientific (2010).

### Verificación de la calibración

#### Prueba estática

Con un cilindro graduado de 100 cm<sup>3</sup> se agregó lentamente agua sobre el área de captación del pluviómetro, al escucharse cada cinco choques del balancín (5 pulsos), se dejó de aplicar el agua y se tomaron las láminas de agua (L) registradas por el equipo desde 5 mm hasta 100 mm y se

compararon con las láminas de agua estimadas a partir de la siguiente fórmula:

$$L = (V / A) \times (10 \text{ mm}/1 \text{ cm})$$

Donde:

L= lámina de agua, expresada en mm.

V= volumen de agua restante en el cilindro, expresada en cm<sup>3</sup>.

A= área del círculo de captación, expresada en cm<sup>2</sup>.

### Prueba dinámica con lluvia natural y pluviómetro convencional

Se utilizó como estándar un pluviómetro Hellmann, que Monasterio *et al.* (2008) lo describen como un cilindro cuya "boca" receptora mide 200 cm<sup>2</sup>. Posee además un anillo de bronce con borde biselado en la parte superior, unido a este, cuyo fondo tiene forma de embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro. El agua recogida pasa por el embudo a una vasija de "boca" estrecha llamada colector, aislada del cilindro exterior para evitar la evaporación por calentamiento.

Sobre una misma base se ubicaron el pluviómetro inalámbrico PCR800 y un pluviómetro convencional. Las "bocas" de ambos equipos se nivelaron para estar a 1,5 m sobre la superficie del suelo y distanciadas entre sí 10 cm. La base se instaló a plena exposición en las coordenadas 10,36235° latitud norte y 68,65572° longitud oeste, correspondiente a la sede de Fundación Danac en el estado Yaracuy.

El registro de la precipitación captada por el pluviómetro inalámbrico (L en mm) fue copiado

del receptor vía cable USB, por medio de un computador y el software Virtual Weather Station base edition versión 14.1. Mientras que con el pluviómetro convencional, la lámina se calculó diariamente con un cilindro graduado. El volumen (V) del agua captada en el depósito, se midió en cm<sup>3</sup>, y el diámetro de la boca en cm. Se calculó el área del círculo de captura (A) en cm<sup>2</sup> y la lámina (L) en mm, con la siguiente fórmula:

$$L \text{ (mm)} = V \text{ (cm}^3\text{)} / A \text{ (cm}^2\text{)} \times (10 \text{ mm} / 1 \text{ cm})$$

### Temperatura y humedad

Se utilizaron tres termohigrómetros modelo THGN801 (Oregon Scientific, 2009) con las siguientes características: dimensiones: 115 x 87 x 118 mm, peso 130 g y tolerancias descritas en el Cuadro 1.

### Verificación de la calibración

Se utilizó como referencia un termohigrómetro digital inalámbrico RTR-53A (TANDD, Japón), calibrado con un patrón termohigrómetro digital PCT-50 certificado 4087-3691767 con trazabilidad del NIST, USA.

Conforme a las especificaciones del fabricante, el rango de temperatura es de 0 a 55 °C con una tolerancia de +/-0,3 °C, mientras que la humedad relativa (HR) presenta un rango de medición de 10 a 95%, con una tolerancia de ±5%.

Se ubicaron tres unidades del THGN801 y una del estándar RTR-53A en una estufa eléctrica FX14-2 (Shell-lab, USA). Cada 15 min se registró la temperatura y humedad que mostraron los cuatro indicadores remotos correspondientes a cada termohigrómetro.

Cuadro 1. Tolerancias por rangos operacionales del termohigrómetro modelo THGN801.

Variable	Alcance funcional	Rango	Tolerancia
Temperatura (°C)	30 a 60	0-40	+/- 1
		40-50	+/- 2
Humedad relativa (%)	25 a 90	25 a 40	+/- 7
		40 a 80	+/- 5

Fuente: Oregon Scientific, 2009.

La captura de datos se inició cuando la estufa indicó los 30 °C y se elevó dos grados cada media hora hasta 38 °C, por lo que se obtuvieron dos lecturas para cada uno de los cinco valores de temperatura que indicó el sensor del panel de control de la estufa (30, 32, 34, 36 y 38 °C).

### **Análisis de resultados**

Se estimaron las diferencias significativas entre los dispositivos y los valores indicados por los instrumentos de referencia. Para los pluviómetros se empleó la prueba de rango estudentizado de Tukey y para los termohigrómetros se utilizó el estadístico de t de Student (Miles, 1963).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Precipitación prueba estática**

En el Cuadro 2 se muestran los valores calculados para cada cinco pulsos (equivalentes a 5 mm de lámina). Se encontró que los valores de lámina añadida, con respecto a la registrada, difieren entre 0,08 mm y 0,59 mm en las 20 mediciones. Los cálculos estimaron que con cada 39,27 cm<sup>3</sup> que se aplicara, el balancín bajaría para efectuar un pulso (datos no mostrados).

Las diferencias encontradas entre la lámina aplicada y la lámina registrada para todos los niveles no fueron significativas ( $P < 0,025$ ) y por ello no se encontraron datos discrepantes (Cuadro 2), sin embargo las variaciones presentes podrían ser atribuidas a errores propios del analista al manipular el instrumento durante las mediciones y a la precisión del cilindro graduado utilizado.

### **Prueba dinámica con lluvia natural y pluviómetro convencional**

En el Cuadro 3 se observa que la lámina registrada por la estación inalámbrica (b) difiere entre -1 a 3 mm en el mes de marzo, y entre -1 y 2,6 mm en el mes de abril, con respecto a la lámina calculada a partir del pluviómetro convencional (a).

Monasterio *et al.* (2008), validando un pluviómetro artesanal con uno convencional, encontraron que

las diferencias del volumen de agua medido en ambos fueron mínimas tal como fue encontrado en el presente estudio.

### **Temperatura y humedad**

En el Cuadro 4 se observa que para los tres termohigrómetros modelo THGN801, las diferencias de temperatura con respecto al estándar no superan las tolerancias del equipo (0 a 40 °C: +/- 1 °C), exceptuando el primer registro de temperatura.

Mientras que para la humedad relativa, los termohigrómetros 1 y 3 mostraron las menores diferencias con respecto al estándar, no superando en ningún caso las tolerancias máximas del equipo (25 a 49%: +/- 7%).

La diferencia promedio del termohigrómetro 2 con el estándar fue inferior a su precisión, sin embargo mostró ser menos consistente que los otros dos sensores.

Al comparar los valores de los termohigrómetros con los valores de referencia del RTR-53A, se encontraron variaciones que no resultaron significativas, por ello no se identificaron datos discrepantes para el rango de trabajo considerado en el estudio.

## **CONCLUSIONES**

Se verificó que las calibraciones del pluviómetro PCR800 y de los tres termohigrómetros THGN801, están conformes con las tolerancias indicadas por los fabricantes, sus resultados fueron comparables con los equipos de referencia para un amplio rango de niveles de precipitación, temperatura y humedad relativa. En este sentido, las variaciones encontradas fueron atribuidas a errores propios de la medición.

Se recomienda incorporar la metodología empleada en el presente estudio, dentro de un plan de verificación periódico, para asegurar la confiabilidad de los resultados emitidos por estos equipos, con el fin de interpretar de manera más asertiva algunos eventos climáticos y sus posibles efectos sobre el manejo y la productividad de los cultivos.

Cuadro 2. Número de pulsos, volumen de agua aplicado, lámina de agua aplicada y calculada y su diferencia, en la prueba estática de un pluviómetro PCR800.

N° pulsos	Volumen de agua aplicado (cm <sup>3</sup> )	Lámina de agua registrada (mm) a	Lámina de agua aplicada (mm) b	Diferencias (mm) a-b	Datos discrepantes*
5	42	5	5,35	-0,35	0
10	80	10	10,19	-0,19	0
15	120	15	15,28	-0,28	0
20	160	20	20,37	-0,37	0
25	195	25	24,83	0,17	0
30	235	30	29,92	0,08	0
35	277	35	35,27	-0,27	0
40	312	40	39,72	0,28	0
45	350	45	44,56	0,44	0
50	394	50	50,17	-0,17	0

  

N° pulsos	Volumen de agua aplicado (cm <sup>3</sup> )	Lámina de agua registrada (mm) c	Lámina de agua aplicada (mm) d	Diferencias (mm) c-d	Datos discrepantes*
55	429	55	54,62	0,38	0
60	474	60	60,35	-0,35	0
65	508	65	64,68	0,32	0
70	550	70	70,03	-0,03	0
75	590	75	75,12	-0,12	0
80	630	80	80,21	-0,21	0
85	670	85	85,31	-0,31	0
90	705	90	89,76	0,24	0
95	745	95	94,86	0,14	0
100	790	100	100,59	-0,59	0

\*Diferencias que no exceden el valor crítico studentizado de Tukey a nivel de  $P < 0,025$  se consideran no discrepantes.

Cuadro 3. Volumen captado en pluviómetro convencional y su lámina calculada, lámina registrada en pluviómetro PCR800 de estación WMR200A y diferencias entre láminas, en Fundación Danac, San Javier, estado Yaracuy, durante los meses de marzo y abril del 2012.

Marzo					
Día	Pluviómetro convencional		PCR800	a-b	Datos discrepantes*
	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lámina calculada (mm) a	Lámina registrada (mm) b		
2	80	4	5	-1	0
4	28	1,4	0	1,4	0
6	22	1,1	2	-1	0
12	60	3	0	3	0
18	148	7,4	8	-1	0
20	490	24,5	25	-1	0
22	750	37,5	38	-1	0
23	800	40	41	-1	0
24	677	33,9	35	-1	0
Abril					
Día	Pluviómetro convencional		PCR800	c-d	Datos discrepantes*
	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lámina calculada (mm) c	Lámina registrada (mm) d		
7	400	20	21	-1	0
8	28	1,4	2	-1	0
13	478	23,9	24	-0	0
14	40	2	0	2	0
20	732	36,6	34	2,6	0
21	25	1,3	2	-1	0
22	86	4,3	4	0,3	0
23	6	0,3	0	0,3	0
24	628	31,4	32	-1	0
25	878	43,9	45	-1	0
26	314	15,7	14	1,7	0

Nota: Solo se muestran los días con precipitación.

\*Diferencias que no exceden el valor crítico studentizado de Tukey a nivel de  $P < 0,025$  se consideran no discrepantes.

Cuadro 4. Valores de temperatura y humedad de tres termohigrómetros THGN801 y sus diferencias con un estándar RTR-53 A.

Estufa °C	Temperatura °C							Datos discrepantes*
	RTR53A a	TH1 b	a-b	TH2 c	a-c	TH3 d	a-d	
30	34,3	33,2	1,1	33,8	0,5	33,4	0,9	0
30	34,3	33,8	0,5	33,9	0,4	33,8	0,5	0
32	37,6	37,2	0,4	37,2	0,4	37,1	0,5	0
32	37,5	37,3	0,2	37,2	0,3	37,1	0,4	0
34	39,5	39,9	-0	38,9	0,6	38,8	0,7	0
34	39,5	39,1	0,4	39	0,5	38,9	0,6	0
36	41,4	41,1	0,3	41	0,4	40,8	0,6	0
36	41,4	nr		41	0,4	40,8	0,6	0
38	43,3	nr		42,8	0,5	42,6	0,7	0
38	43,4	42,8	0,6	42,9	0,5	42,7	0,7	0

  

Estufa °C	Humedad %							Datos discrepantes*
	RTR53A e	TH1 f	e-f	TH2 g	e-g	TH3 h	e-h	
30	49	53	-4	41	8	51	-2	0
30	50	50	0	41	9	49	1	0
32	26	26	0	23	3	24	2	0
32	22	21	1	18	4	19	3	0
34	19	18	1	16	3	17	2	0
34	23	21	2	17	6	19	4	0
36	28	24	4	20	8	25	3	0
36	29	nr		22	7	26	3	0
38	28	nr		23	5	25	3	0
38	29	25	4	23	6	25	4	0

Nota: TH 1, 2 y 3 se corresponden con cada uno de los termohigrómetros THGN801.

nr: Datos no registrados debido a la pérdida de comunicación entre el sensor y el receptor.

\*Diferencias que no exceden el valor crítico de t de Student a nivel de  $P < 0,05$  se consideran no discrepantes.

**LITERATURA CITADA**

- Agencia Venezolana de Noticias (AVN). 2013. Durante 2012 INAMEH instaló 49 estaciones hidrometeorológicas en 18 estados. Disponible en línea: <http://www.avn.info.ve/contenido/durante-2012-inameh-instal%C3%B3-49-estaciones-hidrometeorol%C3%B3gicas-18-estados> [Ene. 23, 2013].
- Azkue M. de, A. Cortez e I. Oliveros. 2004. Conozca la Red de estaciones agroclimáticas del INIA, Venezuela. CENIAP HOY N° 4, enero-abril 2004. Maracay, Aragua. Disponible en línea: URL: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mazkue.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mazkue.htm) [Oct. 15, 2012].
- Cabrera S. 2000. Agronomía del Cultivo: Épocas de siembra y densidades óptimas en maíz. **In:** Fontana, H. y González, C. (Comps.) El maíz en Venezuela. Fundación Polar (Ed). Caracas. Venezuela. 530 p.
- Campbell Scientific. 2010. Guía del usuario ARG100 Tipping Bucket Raingauge, pag. 6. Disponible en línea: URL: <ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing/uk/manuals/arg100.pdf> [Sep.15, 2012].
- Franco A. 2006. Descripción de sensores y componentes asociados a una estación meteorológica automática en Maldonado, I, Aravena, R. (Eds) Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas y sus aplicaciones productivas. Boletín INIA N° 145. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Chile. pp. 61-80.
- Miles S.R. 1963. Handbook of tolerances and of measures of precision for seed testing. Proceedings of the International Seed Testing Association 28(3):525-686.
- Monasterio P., F. Pierre, T. Barreto, G. Alejos, W. Maturet y J. Tablante. 2008. El pluviómetro artesanal: una manera práctica de medir la precipitación. INIA Divulga 11:45-48. Disponible en línea: URL: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/inia\\_divulga/numero%2011/11monasterio\\_p.pdf](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/inia_divulga/numero%2011/11monasterio_p.pdf) [Oct. 15, 2012].
- Oregon Scientific. 2009. Manual del usuario Centro meteorológico profesional modelo WMR200A. Disponible en línea: <http://www.weatherconnection.com/manuals/WMR200.pdf> [Abr.12,2012].
- Rodríguez P. 2000. Aspectos climatológicos relacionados con la producción comercial de maíz. **In:** Fontana, H. y González, C. (Comps.) El maíz en Venezuela. Fundación Polar (Ed). Caracas. Venezuela. 530 p.
- Universidad de Asunción (UNA) Facultad Politécnica. 2012. Disponible en línea: URL: <http://www.pol.una.py/?q=node/165> [Feb.15, 2013].