

COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE DATOS DE CUATRO SENSORES DE TEMPERATURA

Guillermo Medina-García^{1*}, Miguel Servín Palestina², Francisco G. Echavarría³ Cháirez, José Israel Casas-Flores⁴, Jesús Antonio García⁵

^{1,2,3,4}INIFAP- Campo Experimental Zacatecas, Carretera. Zacatecas-Fresnillo km 24.5, Calera de Víctor Rosales, Zac., México;

⁵Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, CP 56230, Chapingo, Estado de México, México.

servin.miguel@inifap.gob.mx (*Autor de correspondencia)

Resumen

Se desarrolló un sistema electrónico para monitorear variables climáticas, incluyendo la temperatura, con el objetivo de proporcionar datos en tiempo real sobre las interacciones entre clima, suelo y plantas. Este sistema es particularmente relevante en un contexto de creciente variabilidad climática, donde eventos como la alteración del ciclo del agua y la ocurrencia de heladas exigen información continua y precisa para la toma de decisiones en agricultura y gestión ambiental. Se comparó el desempeño de tres sensores de temperatura (INSTACROPS, DATMET-DAL1 y DATMET-T1) con un sensor de referencia de una estación ADCON, de la red de estaciones meteorológicas automáticas del INIFAP en Zacatecas. Los datos utilizados en el análisis se obtuvieron con una frecuencia de registro de 15 minutos durante el mes de mayo y se consideró parámetros estadísticos como desviación estándar, error estándar medio, curtosis y varianza. Los resultados indican que el sensor INSTACROPS presentó la mayor precisión y exactitud en comparación con el sensor de referencia, seguido por DATMET-T1 y DATMET-DAL1. Estos hallazgos sugieren que el sensor INSTACROPS es una opción viable para aplicaciones que requieran mediciones precisas de temperatura en condiciones de campo. Estos resultados indican que estos sensores comparados son una opción viable para aplicaciones que requieran mediciones precisas de temperatura en condiciones de campo.

Introducción

Las variaciones del clima, la alteración del ciclo natural del agua, presencia de sequías e inundaciones, heladas, etc., aunado a la falta de una oportuna gestión de los recursos hídricos que permitan desarrollar la resiliencia climática, demanda información sobre el estado del clima, suelo y planta.

Contar con un sistema de adquisición, transmisión y visualización de datos sobre el estado del clima, suelo y planta. Que sea económico, flexible, calibrado y evaluado en tiempo real permitirá responder con mayor certeza a preguntas de investigación, ya sea como datos complementarios, variables respuesta de los tratamientos o insumos para modelos dinámicos. Asimismo, este sistema podrá utilizarse en sistemas de producción para proporcionar a técnicos y productores herramientas que les permitan tomar decisiones oportunas y garantizar un incremento en el rendimiento.

Para optimizar los recursos, principalmente agua y fertilizantes, en la producción agrícola, se ha desarrollado una amplia gama de componentes electrónicos de bajo costo y herramientas del Internet de las Cosas (IoT). Los sistemas IoT permiten conectar sensores, software y sistemas de transmisión y recepción de datos en tiempo real, capaces de informar o automatizar acciones específicas.

Los sistemas automáticos de adquisición de datos (SAD) permiten medir diversas variables de fenómenos físicos que posteriormente pueden utilizarse ampliamente en investigación o en sistemas de producción. Los SAD se han utilizado con éxito para monitorear el clima y el suelo en granjas rurales (Njoku et al., 2022), nutrientes y humedad en el suelo, como el sistema "deMeter" (Matthews et al., 2022), la humedad del suelo para control y pronóstico de riego (Ding y Du, 2022), la calidad del suelo para el control de fertirriego (Salah et al., 2021), el desarrollo de un prototipo de riego inteligente utilizando tecnologías IoT (Sai et al., 2021), entre otros. Este estudio se centró en evaluar la calidad de los datos obtenidos de cuatro sensores de temperatura, un aspecto fundamental para garantizar la precisión de los modelos climáticos y la toma de decisiones informadas en agricultura. Para ello, se desarrolló un sistema electrónico de adquisición y transmisión de datos capaz de recopilar in situ y en tiempo real información sobre temperatura del aire, humedad relativa, humedad del suelo, temperatura del dosel, temperatura del suelo y radiación solar.

Materiales y métodos

La mayoría de los sensores no requieren una calibración exhaustiva, sin embargo, las mediciones de los sensores contienen sesgo, por esta razón, se realizó un análisis de la calidad de datos. Se compararon los datos de tres sensores de

temperatura, INSTACROPS, DATMET-DAL1 y DATMET-T1, los cuales se compararon con el sensor de una estación ADCON ubicada a 6.08 km del área de estudio, que es parte de la red de estaciones meteorológicas automáticas del INIFAP en Zacatecas.

Para el análisis se consideraron dos parámetros de calidad de datos que son precisión y exactitud. La precisión describe cuán estrechamente agrupadas están las mediciones repetidas de una magnitud. Una menor dispersión entre los valores obtenidos indica una mayor precisión. Una medida común de la precisión es la desviación estándar de las mediciones (Figura 1). La precisión refleja la exactitud con la que el valor medido coincide con el valor real. Estadísticamente, la precisión está relacionada con el sesgo de una estimación: cuanto menor sea el sesgo, más precisa será la estimación. La exactitud de un resultado se expresa mediante el error absoluto que es la diferencia entre el valor experimental y el valor verdadero (Figura 2) (Ruiz et al., 2010; Wikipedia, 2024).

Se utilizaron datos de 15 minutos del mes de mayo de los cuatro sensores de temperatura. El sensor de la estación ADCON se consideró como testigo contra el cual se compararon los otros sensores. Como no se pueden comparar los datos registrados directamente porque los valores de temperatura registrados son muy variables durante el día y entre días, entonces se obtuvieron las diferencias entre los valores del sensor ADCON y los otros tres. Teóricamente si los sensores registraran los mismos valores las diferencias serían cero, pero no es así.

Se obtuvieron las estadísticas básicas para las diferencias entre de los sensores con el programa SAS Versión 9.4 usando el procedimiento UNIVARIATE. Para medir la calidad de los datos de los sensores comparados con el sensor ADCON se usó la desviación estándar y el error absoluto descritos por Wallach et al. (2019) como medidas de desempeño.

Si el sesgo es consistente, se sugiere generar modelos de regresión lineal usando como variable dependiente los valores del sensor ADCON y como variables independientes las obtenidas de los otros sensores. Se realizó una regresión entre los valores registrados por el sensor ADCON y los otros tres. La precisión del modelo fue de acuerdo con las siguientes asunciones: una R^2 apropiada, la pendiente debe ser significativamente igual a uno y el intercepto debe ser significativamente igual a cero (White et al., 2007). Si los sensores registran valores

similares, la precisión óptima del modelo ocurre cuando la pendiente se acerca a uno.

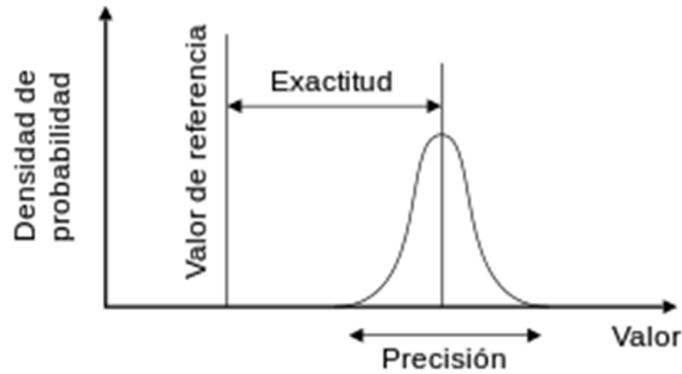


Figura 1. Diagrama de los parámetros precisión y exactitud, indicadores de la calidad de datos.

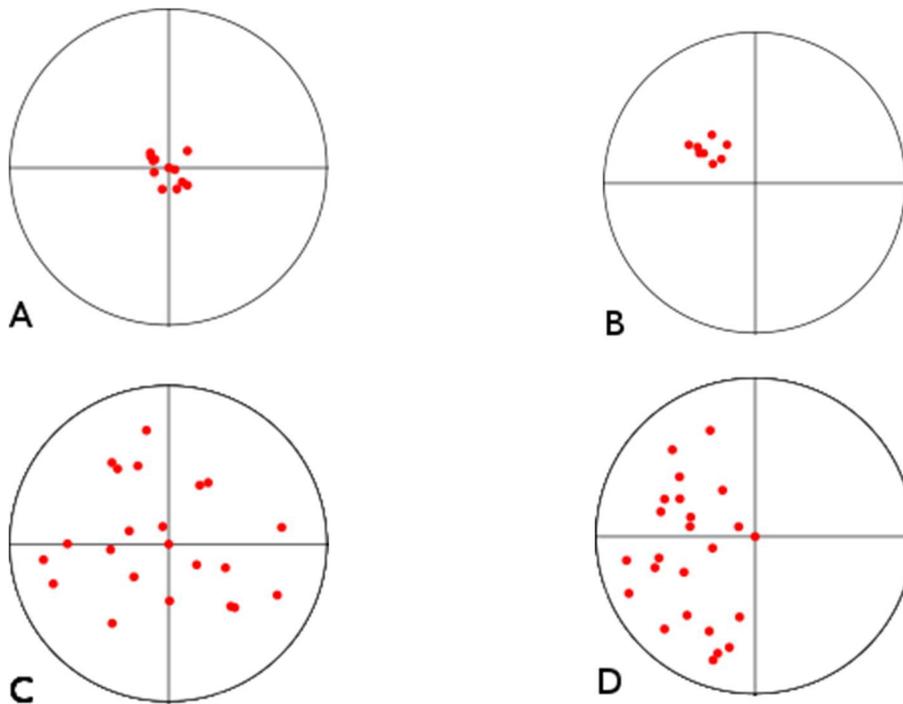


Figura 2. Precisión de los datos. A) alto grado de precisión y exactitud, B) alto grado de precisión y menor grado de exactitud, C) baja precisión y buena exactitud, D) falta de precisión y falta de exactitud.

Resultados y discusión

Se obtuvieron las diferencias entre los sensores ADCON e INSTACROPS (DAI), ADCON y DATMET-DAL1 (DADAL1), ADCON y DATMET-T1 (DAT1); como complemento se obtuvieron además las diferencias entre los otros sensores para conocer qué tan diferentes son entre ellos, INSTACROPS y DATMET-DAL1 (DIDAL1), INSTACROPS y DATMET-T1 (DIT1), DATMET-DAL1 y DATMET-T1 (DDAL1T1). Como ejemplo se muestra la dispersión de las diferencias entre los sensores ADCON e INSTACROPS (Figura 3), teóricamente las diferencias deberían ser ceros, sin embargo, los sensores no registran los mismos valores.

En el Cuadro 1 se presentan los parámetros obtenidos de las diferencias de los valores registrados por los sensores de temperatura, el sensor de referencia con el que se compararon los otros sensores fue el sensor ADCON. La menor media de las diferencias fue la del sensor INSTACROPS con un valor de -0.02, seguido por el sensor DATMET-T1 con -0.45 y en tercer lugar el sensor DATMET-DAL1 con -0.63.

La precisión de los datos se mide con la desviación típica, en este caso el menor valor fue el de las diferencias con el sensor INSTACROPS, seguido por DATMET-T1 y DATMET-DAL1. La exactitud se mide con la media del error estándar, en este parámetro el comportamiento de los sensores fue el mismo. La curtosis indica que tanto se dispersan los valores de la diferencia con respecto a la media cero, un valor alto indica que los valores están cercanos a cero, el valor más alto de las tres diferencias de datos fue el de INSTACROPS, seguido por los otros dos en el mismo orden. Comparando la varianza de las diferencias de valores de los tres sensores, también los resultados fueron iguales.

Adicionalmente se compararon las diferencias entre el sensor INSTACROPS y los sensores DATMET-T1 y DATMET-DAL1. De acuerdo con los valores de todos los parámetros el sensor más parecido al INSTACROPS fue el DATMET-T1. Finalmente, se analizaron las diferencias entre los sensores DATMET-T1 y DATMET-DAL1, en este caso, de acuerdo con los valores bajos de todos los parámetros y al valor alto de la curtosis, se puede decir que estos dos sensores son muy parecidos entre sí.

En el cuadro 2 se presentan los parámetros de los modelos de regresión generados, en los tres modelos la pendiente fue significativamente igual a uno y el intercepto significativamente igual a cero. Sin embargo, de acuerdo con los valores de los parámetros, el modelo con mejor ajuste de acuerdo con los supuestos fue el de ADCON con INSTACROPS, seguido por el DATMET-T1 y DATMET-DAL1.

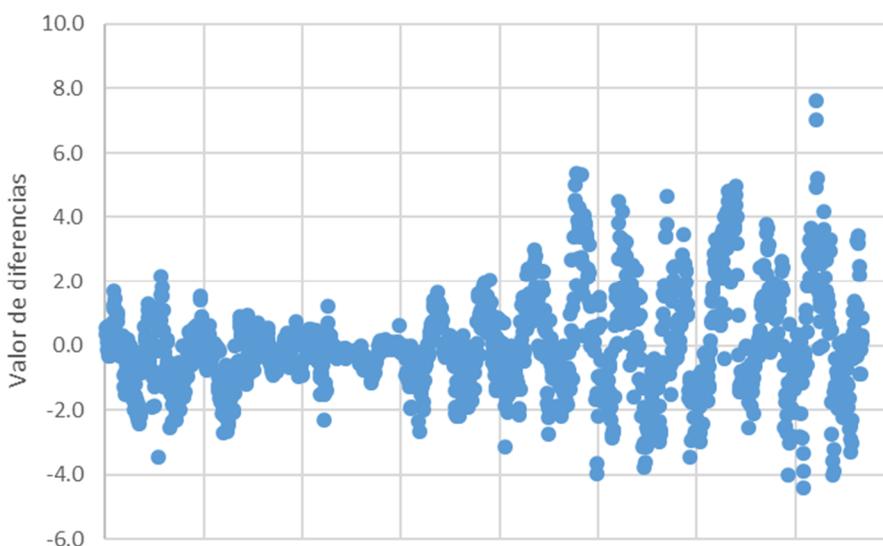


Figura 3. Dispersión de las diferencias entre los sensores ADCON e INSTACROPS.

Cuadro 1. Parámetros obtenidos de las diferencias entre los datos de los sensores.

PARÁMETRO	DAI	DADAL1	DAT1	DIDAL1	DIT1	DDAL1T1
N	1516.00	994.00	994.00	982.00	982.00	994.00
Media	-0.02	-0.63	-0.45	-0.63	-0.45	0.18
Desviación típica	1.54	2.46	2.23	1.91	1.76	0.68
Varianza	2.38	6.03	4.96	3.63	3.09	0.46
Curtosis	1.32	2.01	1.96	2.81	2.87	9.81
Media error estándar	0.04	0.08	0.07	0.06	0.06	0.02

Cuadro 2. Parámetros de los modelos de regresión entre el sensor ADCON y los sensores INSTACROPS, DATMET-DAL1 y DATMET-T1.

SENSOR	INTERCEPTO	PENDIENTE	R2	N
INSTACROPS	-1.105**	1.082**	0.964	1516
DATMET-DAL1	-1.279**	1.129**	0.917	993
DATMET-T1	-1.175**	1.109**	0.927	993

** Intercepto significativamente no diferente de cero o pendiente significativamente no diferente de uno (P <= 0.01).

Conclusiones

El análisis comparativo de los sensores de temperatura INSTACROPS, DATMET-DAL1 y DATMET-T1 con respecto a un sensor de referencia (ADCON) reveló diferencias significativas en términos de precisión y exactitud.

El sensor INSTACROPS demostró una mayor precisión en las mediciones, comprobada por la menor desviación estándar en comparación con los otros sensores evaluados. Este resultado es coherente con los valores obtenidos en los

análisis estadísticos, como la varianza y la media del error estándar, los cuales fueron significativamente menores para INSTACROPS. En contraste, los sensores DATMET-DAL1 y DATMET-T1 presentaron una mayor dispersión en sus datos, lo que sugiere una menor precisión en las mediciones realizadas por estos dispositivos.

Los modelos de regresión lineal entre los sensores y el sensor de referencia mostraron elevados coeficientes de determinación (R^2), lo que indica una fuerte correlación entre las mediciones. Sin embargo, los interceptos y las pendientes de las regresiones no siempre fueron estadísticamente iguales a cero y uno, respectivamente, lo que sugiere la presencia de pequeñas diferencias sistemáticas entre los sensores. El sensor INSTACROPS presentó los valores de intercepto y pendiente más próximos a cero y uno, respectivamente, lo que indica una mayor precisión en comparación con los otros dos sensores.

El análisis comparativo realizado en este estudio ha permitido evaluar el desempeño de tres sensores de temperatura en condiciones de campo. Los resultados obtenidos indican que los sensores DATMET-T1, DATMET-DAL1 e INSTACROPS presentan una alta correlación entre sus mediciones, lo que los convierte en opciones viables para diversas aplicaciones. Sin embargo, la elección del sensor más adecuado dependerá de las necesidades específicas de cada estudio. Esta investigación subraya la importancia de seleccionar cuidadosamente el sensor, considerando factores como la precisión requerida, el rango de medición y las condiciones ambientales del sitio de estudio.

Referencias bibliográficas

- Ding, X., and Du, W. 2022. DRLIC: Deep Reinforcement Learning for Irrigation Control. Paper presented at the ACM/IEEE IPSN.
- Matthews, R., Rummer, R., Fayomi, T., and Fuller, A. 2022. "deMETER" Soil Monitoring System.
- Njoku, U. C., Agubor, C. K., and Ezema, L. S. 2022. Development of a Long-Range WAN Weather and Soil Monitoring System for Rural Farmers. *Eximia*, 4(1), 159-171.
- Ruiz A., A. M., García B., J. L. y Mesa M., J. L. 2010. Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico. 1er Congreso Internacional de Catastro Unificado y Multipropósito. P. 1-8. ISBN 978-84-8439-519-5.
- Sai, T., Proeung, B., Tep, S., Chhorn, S., Pec, R., Nall, V. and Hel, C. 2021. Prototyping of Smart Irrigation System Using IoT Technology. Paper presented at the 2021 7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE).
- Salah, M. B. 2021. Agricultural LoRA sensor network applied to soil moisture monitoring for fertigation-based production.

- Wallach, D., Makowski, D., Jones, J. W. and Brun, F. 2019. Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools and Examples for Agriculture and Environment. Third. Ed. Academic Press, London, U.K
- Wikipedia. 2024. Precisión y exactitud. Consultado el 10 de junio de 2024. https://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n_y_exactitud
- White, J. W.; Boote, K. J.; Hoogenboom, G. and Jones, P. G. 2007. Regression-based evaluation of ecophysiological models. *Agron. J.* 99:419-427.