

RELACIÓN ENTRE LA DURACIÓN DEL MOJADO FOLIAR Y LA HUMEDAD RELATIVA EN ENTRE RÍOS

Emanuel Melgares¹, Ana Beatriz Wingeyer^{1,2}, Emmanuel Adrian Gabioud¹, Roberto Javier Crespo¹

Emanuel.melgares@inta.gob.ar

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; ²Conicet

Palabras clave: Humedad Relativa, Mojado Foliar

1) INTRODUCCIÓN

La duración del mojado foliar (LWD, Leaf Wetness Duration) es una variable crítica para la evaluación de condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fúngicas en los cultivos (Formento et al. 2010). La medición de LWD se realiza comúnmente mediante sensores específicos instalados en estaciones meteorológicas, sin embargo, su disponibilidad es aún limitada y muchas veces se restringe a pocos sitios de monitoreo (Zito 2020). La implementación de sistemas de alerta de enfermedades por parte de distintos organismos ha puesto de foco en la necesidad de datos de LWD de fácil acceso, que normalmente no están disponibles en las redes oficiales de estaciones meteorológicas (Rowlandson 2015). Esto plantea la necesidad de desarrollar metodologías alternativas que permitan estimar de manera indirecta esta variable a partir de otros datos meteorológicos frecuentemente registrados, como la humedad relativa del aire (Zito 2020).

La disponibilidad de datos de horarios de humedad relativa (HR) y mojado foliar, junto con otras variables podría permitir establecer modelos de ajuste local para estimar LWD a partir de mediciones más comunes como la HR. En el presente trabajo se relacionaron distintos umbrales de humedad relativa ($HR \geq 75\%$, 85% y 95%) con LWD con el objetivo de establecer un indicador indirecto para estimar la duración del mojado foliar.

2) MATERIALES Y METODOS

Para el presente estudio se utilizaron datos horarios de HR (sensor ROTRONIC Hygromer® IN-1) y mojado foliar desde 1/1/2010 al 31/12/2014 pertenecientes a una estación automática IMETOS® (Pessel Instruments) ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Paraná (coordenadas). El sensor de humedad de las hojas funciona midiendo la conductividad en un papel de filtro, que se mantiene entre dos electrodos de acero inoxidable en un soporte transparente.

Se estimó la duración de la humedad foliar (DHF) mediante el modelo de umbral (Sentelhas et al. 2008):

$$DHF = \sum_{h=1}^{24} RHh \geq RHI \quad (1)$$

Donde DHF es el número de horas (h) del día en que la humedad relativa horaria (RHh) es mayor o igual al umbral establecido (RHI). Se aplicaron tres umbrales de humedad relativa (HR) como criterios para estimar DHF: 75%, 85% y 95%. Para cada registro horario, se asignó un valor de 1 cuando la HR fue igual o superior al umbral considerado, y 0 en caso contrario. Posteriormente, se sumaron los valores horarios diarios para obtener la duración estimada del mojado foliar en horas para cada día.

Simultáneamente, se calcularon los valores reales de LWD para el mismo periodo como la sumatoria diaria de minutos de mojado foliar medidos por el sensor correspondiente a un intervalo mayores o iguales a 5 minutos.

La comparación entre DHF y LWD se realizó mediante regresión lineal simple para cada umbral. Se evaluó el desempeño de cada modelo a través de las métricas de R^2 , Error Absoluto Medio (MAE) y Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE). Adicionalmente, se evaluó la capacidad de detección del mojado foliar mediante el uso de métricas de clasificación binaria:

Exactitud: proporción de días correctamente clasificados, tanto de mojado como de no mojado.

$$\text{Exactitud} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

Sensibilidad: proporción de días con mojado correctamente detectados.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

Especificidad: proporción de días sin mojado correctamente identificados.

$$\text{Especificidad} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (4)$$

Donde:

TP (True Positives): días con mojado correctamente detectados,

FN (False Negatives): días con mojado que no fueron detectados,

FP (False Positives): días sin mojado que fueron erróneamente clasificados como mojados,

TN (True Negatives): días sin mojado correctamente clasificados.

3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período analizado, el año 2012 fue el que registró la mayor cantidad de horas de LWD a nivel anual, con un total de 1581 horas. En cambio, el año 2013 presentó el menor acumulado anual, con 1277 horas de LWD. El mes con menor cantidad de horas fue diciembre de 2011, con un total de 33 horas de LWD. En contraste, mayo de 2010 registró la mayor acumulación mensual de horas de LWD, alcanzando un total de 250 horas.

En la Tabla 1 se presentan los resultados estadísticos para las relaciones entre LWD y DHF de cada uno de los umbrales analizados. En la misma se observa que a medida que valor del umbral de HR aumenta, el valor de R^2 mejora progresivamente, acompañado por un menor MAE y menor RMSE, lo cual indica una mayor precisión en la estimación a medida que los valores de HR superan el 75%.

Tabla 1. Ajuste de umbrales de humedad relativa: $HR \geq 75\%$, $HR \geq 85\%$ y $HR \geq 95\%$, durante el período 2010–2014 en función del mojado foliar real.

Umbral de HR (%)	R2	MA	RMSE	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad
75	0,53	6,51	8,31	0,63	1,00	0,27
85	0,60	4,79	6,70	0,71	0,99	0,43
95	0,72	2,39	4,07	0,83	0,93	0,74

Respecto a las métricas binarias, el modelo con $HR \geq 75\%$ presenta la máxima sensibilidad (1,00), es decir, detecta casi todos los casos reales de mojado foliar. Sin embargo, esta alta sensibilidad se logra a costa de una muy baja especificidad (0,27), lo que refleja una importante sobreestimación (falsos positivos). En los otros dos umbrales analizados, la especificidad aumenta (hasta 0,74), reduciendo los falsos positivos, aunque con una leve pérdida de sensibilidad.

En la figura 1 se presenta la relación entre DHF diaria estimada para los tres umbrales de HR ($HR \geq 75\%$, $HR \geq 85\%$ y $HR \geq 95\%$) y LWD diaria del sensor durante el período 2010–2014. En la misma se observa una tendencia clara a sobreestimar las horas de mojado foliar. Se destaca un alto número de días con estimaciones superiores a 15 horas que no se corresponden con lo medido por el sensor, en concordancia con la alta dispersión de puntos observada y los valores de especificidad obtenidos en la tabla 1. Al emplear un umbral de $HR \geq 85\%$, la sobreestimación disminuye en comparación con el umbral anterior, aunque aún se mantiene por encima de la relación esperada.

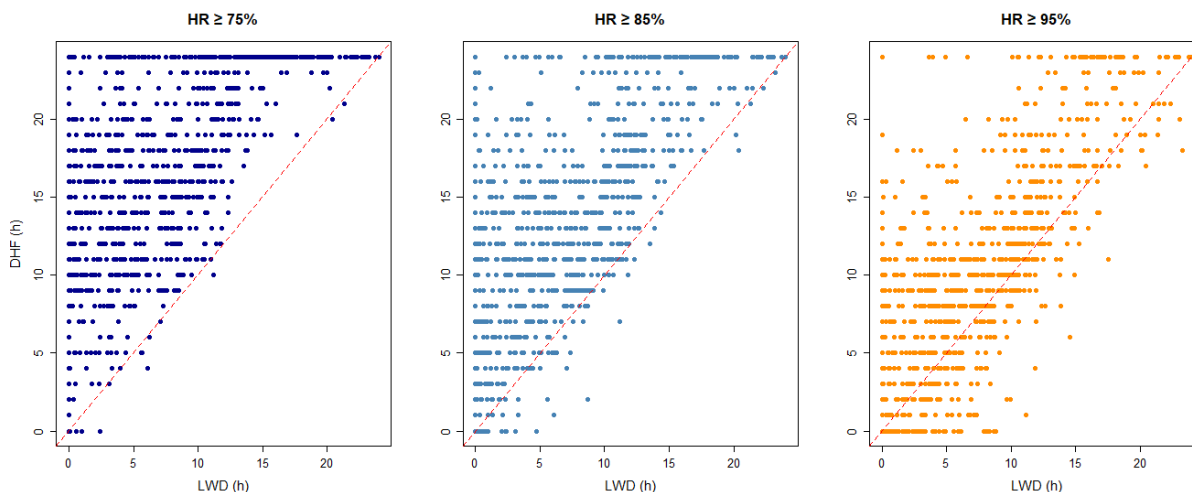


Figura 1. Comparación entre horas de mojado foliar estimadas y medidas para los 3 umbrales de humedad relativa

Al elevar el umbral a $HR \geq 95\%$, la nube de puntos tiende a alinearse con un mejor ajuste que en los

casos anteriores a lo largo de la diagonal (línea 1:1) coincidiendo también con los valores de R2 y RMSE obtenidos en la tabla 1, especialmente en el rango de 0 a 15 horas. Además, se reduce la “saturación” de valores cercanos al máximo.

Los umbrales de humedad relativa menores al 85% se podrían considerar demasiado permisivos, ya que tienden a detectar horas de mojado que en realidad no ocurrieron. En cambio, el umbral de $HR \geq 85\%$ representa una mejora, especialmente en los días con mayor duración de mojado. Esta tendencia se observa aún más al utilizar un umbral de $HR \geq 95\%$, lo cual es esperable desde un punto de vista físico: a medida que la humedad relativa se aproxima al 100%, es mucho más probable que se produzca condensación sobre las superficies de las hojas, favoreciendo la permanencia del agua en su superficie.

Sentelhas et al. (2008) indicaron que el valor de umbral de 85% permite simular LWD con la mayor precisión. Según el presente estudio dicho umbral podría ser utilizado para la región, pero se debería profundizar en un modelo para poder ajustar mejor la LWD. Esto se podría realizar a partir de la incorporación de otras variables importantes y de fácil acceso tales como el viento o la radiación (Garrant 1998).

4) CONSIDERACIONES FINALES

La estimación de la duración del mojado foliar a partir del método de umbrales de humedad relativa puede ser una herramienta simple y efectiva para aproximarse al comportamiento observado por el sensor real.

La inclusión de los valores de exactitud, sensibilidad y especificidad son herramientas que permiten evaluar los modelos propuestos.

Para futuros estudios se planea trabajar en la incorporación de otras variables meteorológicas como la radiación solar o el viento, con el objetivo de refinar aún más la estimación de LWD a partir de la HR.

REFERENCIAS

- Garratt, J. R., and Segal, M. 1988. On the contribution of atmospheric moisture to dew formation. *Bound. Layer Meteorol.* 45:209-236.
- Magarey, R. D., Seem, R. C., Weiss, A., and Gillespie, T. J. 2005. Estimating surface wetness on plants. Pages 199-226 in: *Micrometeorology in Agricultural Systems*. J. L. Hatfield and J. M. Baker, eds. American Society of Agronomy, Madison, WI
- OMM, 2014: Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos, OMM-Nº 8. Organización Meteorológica Mundial, Suiza.
- Rowlandson, T., Gleason, M., Sentelhas, P., Gillespie, T., Thomas, C., Hornbuckle, B., 2015. Reconsidering Leaf Wetness Duration Determination for Plant Disease Management. *Plant Dis.* 99 (3), 310–319. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0529-FE>.
- Sentelhas, P.C., Dalla Marta, A., Orlandini, S., Santos, E.A., Gillespie, T.J., Gleason, M.L., 2008. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. *Agric For Meteorol* 148 (3), 392–400. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.09.011>.
- Zito, S., Castel, T., Richard, Y., Rega, M., Bois, B., 2020. Optimization of a leaf wetness duration model. *Agric. For. Meteorol* 291, 108087. <https://doi.org/10.1016/j.Agrformet>
- Formento, A.N., Velazquez, P.D., Carmona, M.A., Scandiani, M. 2012. Manifestación de las enfermedades foliares del maíz (*Zea mays*) según diferentes ambientes- 2011/12. XIV Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Potrero de los Funes, San Luis, 3, 4 y 5 Octubre 2012. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/19253>