Análisis de los efectos de la sequía en manzanos a través del índice Leafiness-LiDAR

Leire Sandonís-Pozo [1], José A. Martínez-Casasnovas[1], Miquel Pascual[2]

[1] Universitat de Lleida – UdL- Departamento de Química, Física y Ciencias Ambientales y del Suelo. Av. Rovira Roure, 191. E-25198 Lleida
[2] Universitat de Lleida – UdL- Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola. Av. Rovira Roure, 191. E-25198 Lleida

Palabras clave: LiDAR, Fruticultura de Precisión, Sequía, Índice de Área Foliar (LAI).

Resumen

La sequía es un factor ambiental significativo que puede afectar de manera considerable el desarrollo y la productividad los cultivos frutícolas. En manzanos (*Malus sylvestris L.Mill.)*, diversos autores han demostrado que la productividad y la calidad de los frutos está directamente relacionada con la cantidad de radiación solar absorbida por las copas. La gestión adecuada del dosel foliar durante períodos de sequía es esencial para minimizar sus consecuencias sobre la productividad de los manzanos. En este sentido, los sensores LiDAR (*Light Detection And Ranging*), utilizados en Fruticultura de Precisión para la caracterización 3D de la vegetación, pueden aportar la información necesaria para cuantificar las características geométricas y estructurales del dosel foliar de las plantaciones. Concretamente, en el presente trabajo se ha utilizado el índice Leafiness-LiDAR Index (LLI) medido en una plantación comercial intensiva de manzanos (*Malus sylvestris L.Mill.)* cv UEB 3264/2 Opal®, en la que se diseñó un experimento con diferentes dosis regadío a fin de simular las condiciones de sequía (desde condiciones deficitarias en diferentes períodos hasta riego completo). Los resultados obtenidos del análisis LiDAR permiten estimar adecuadamente el índice de área foliar (LAI) de los árboles, pudiendo relacionar estos indicadores con diversos e importantes atributos cuantitativos: crecimiento vegetativo, frondosidad del seto y rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El manzano (*Malus sylvestris* L. Mill) es un cultivo cuya producción se concentra principalmente en regiones áridas y semiáridas del Mediterráneo, donde la sequía es un desafío para los productores y donde el riego se vuelve esencial para garantizar cosechas óptimas (López et al., 2012). Considerando un contexto de cambio climático y la escasez, así como el alto costo del agua en muchas zonas mediterráneas, en años de sequía puede ser necesario imponer el riego deficitario (RD) en estados fenológicos muy sensibles al estrés hídrico.

Investigaciones recientes, han demostrado que el impacto del estrés hídrico en manzanos varía según la etapa de desarrollo del cultivo. El estrés hídrico aplicado durante la fase de crecimiento de las células del fruto y entre las fases de floración y cuajado mejora

la calidad de los frutos así como la eficiencia del uso del agua (Chenafi et al., 2018; Zhong et al., 2019). Sin embargo, los manzanos se caracterizan por tener una maduración media-tardía, por lo que es más probable que el estrés hídrico se produzca durante la fase de maduración. Estudios como el de Chen et al. (2019), han demostrado que los manzanos responden a la sequía reduciendo su superficie foliar y favoreciendo brotes medios y cortos en lugar de largos, reduciendo en consecuencia la eficacia de la interceptación de la luz por parte del dosel foliar. Esta respuesta tiene un efecto directo sobre el rendimiento, reducción del tamaño y peso de los frutos en el momento de la cosecha y/o a la caída prematura de los frutos antes del momento de la cosecha (López et al., 2012).

Tradicionalmente, la interceptación de luz se ha estimado de manera indirecta mediante el uso de ceptómetros, midiendo la fracción de PAR absorbida por las copas, pero estos métodos tienen limitaciones en condiciones de luz difusa (Pokovai & Fodor, 2019). Los sensores LiDAR (*Light Detection And Ranging*) se han utilizado para la caracterización 3D de la vegetación (Escolà et al., 2017; Colaço et al., 2018), proporcionando información sobre las características geométricas y estructurales del dosel foliar. Este estudio utiliza tecnología LiDAR para calcular el índice Leafiness-LiDAR Index (LLI) como estimador del LAI de forma continua.

El objetivo es evaluar la respuesta del el índice Leafiness-LiDAR Index (LLI), como estimador del LAI y su relación con parámetros productivos, como tamaño, peso y número de frutos con distintos tratamientos de riego y densidades de plantación para evaluar su idoneidad para una gestión adecuada del dosel foliar durante períodos de sequía es esencial, así como optimizar la poda, fertilización y riego.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en una plantación experimental intensiva de manzanos (Malus sylvestris L. Mill.) cv UEB 3264/2 Opal®, ubicada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agroalimentaria, Forestal y Veterinaria (ETSEAFiV) en Cataluña, España (X = 296 975 m, Y = 4 599 900 m UTM 31T/ETRS89). El área de estudio abarca unos 500 m^2 y consta de 3 hileras orientadas NE-SW. La parcela tiene 76 árboles divididos en 5 subparcelas, donde se probaron dos marcos diferentes de plantación (0.5 m y 1 m), combinadas con dos estrategias de riego durante la fase de maduración del fruto. Estos tratamientos fueron FI o riego completo y DI condiciones deficitarias en ciclos de 15 días. La altura y anchura media de los árboles fueron aproximadamente 2.72 m y 2.13 m, respectivamente.

Los datos LiDAR se adquirieron el 15 de julio de 2023 con el escáner láser terrestre móvil (MTLS) Viametris bMS3D-4CAM montado en un EZ Rider 4x4 que se desplazaba a una velocidad constante de 10 km h^{-1}. Este equipo incorpora dos sensores LiDAR VLP-16 con un alcance de 100 m y capacidad de doble retorno. Cada sensor utiliza 16 haces láser simultáneos con un campo de visión de 30º para adquirir ~300,000 puntos/s con una ventana de exploración de 360º. Se extrajeron parámetros geométricos y estructurales del dosel a partir de la nube de puntos 3D cada 0.5 m y cada 1 m, según el marco de plantación a lo largo de las filas de árboles, aplicando un código descrito en Llorens et al. (2019).A partir de la extracción de estos parámetros, se calculó el LLI (expresado en m^2) como el

producto de la frondosidad del dosel (L) y su área de sección transversal (CS) (Tabla 1). A partir de los parámetros obtenidos se realizó un análisis factorial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis factorial muestran que el Factor 1 y 2 en conjunto explican el 66 % de la variabilidad total (Tabla 2). El Factor 1 (35 %) explica fundamentalmente los tratamientos de riego y el desarrollo vegetativo. Los tratamientos de riego FI y DI son los que más variabilidad explican dentro de este factor. El FI se encuentra directamente relacionado con el LLI y con el LAI contribuyendo positivamente al rendimiento, así como al número de frutos por árbol y al calibre. El DI por su parte, se relación de manera directa con la porosidad del seto. Resultados similares durante la fase de maduración y sequía fueron encontrados por Chen et al., (2019). Encontraron que los manzanos redujeron su superficie foliar con el estrés hídrico.

En el factor 2 (31 %), sin embargo, el marco de plantación es el factor con mayor peso. Con un marco de plantación menor (0.5 m) se obtienen copas menos porosas y un menor número de frutos por árbol. Sin embargo, a mayor densidad de plantación, también se obtiene un mayor rendimiento de fruta por ha. Estos resultados también fueron encontrados por (Dhiman et al., 2018). Esta respuesta se debe a que al aumentar la densidad de plantación, aumenta la luz interceptada y el rendimiento (Tustin et al., 2022), , hasta que llega un punto en el que el dosel se vuelve demasiado denso y causa sombreado (Lakso et al., 1989).

Los resultados obtenidos muestran que la manipulación de la arquitectura del árbol puede mejorar la eficiencia de interceptación de la luz. Este estudio apunta al interés del LLI como índice para evaluar de un modo más integrados las características del dosel foliar.

Agradecimientos

Este trabajo es fruto del proyecto PID2021-126648OB-I00 (PAgPROTECT) concedido por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “ERDF, a way of make Europe”, de la Unión Europea.

Referencias

Chen, D., Pallas, B., Martinez, S., Wang, Y., & Costes, E. (2019). Neoformation and summer arrest are common sources of tree plasticity in response to water stress of apple cultivars. Annals of Botany, 123(5), 877–890. https://doi.org/10.1093/aob/mcy224

Chenafi, A., Monney, P., Ferreira, M. I., Chennafi, H., & Carlen, C. (2018). Scheduling deficit subsurface drip irrigation of apple trees to optimize water use efficiency. Advances in Science, Technology and Innovation, 743–745. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4_219

Colaço, A. F., Molin, J. P., Rosell-Polo, J. R., & Escolà, A. (2018). Application of light detection and ranging and ultrasonic sensors to high-throughput phenotyping and precision horticulture: Current status and challenges. Horticulture Research, 5(1). https://doi.org/10.1038/s41438-018-0043-0

Dhiman, N., Chandel, J., & Verma, P. (2018). Effect of planting density on growth, yield

and fruit quality of apple cv. Jeromine. Journal of Hill Agriculture, 9(3), 283. https://doi.org/10.5958/2230-7338.2019.00020.x

Escolà, A., Martínez-Casasnovas, J. A., Rufat, J., Arnó, J., Arbonés, A., Sebé, F., Pascual, M., Gregorio, E., & Rosell-Polo, J. R. (2017). Mobile terrestrial laser scanner applications in precision fruticulture/horticulture and tools to extract information from canopy point clouds. Precision Agriculture, 18(1), 111–132. https://doi.org/10.1007/s11119-016-9474-5

Hampson, C. R., Quamme, H. A., Kappel, F., & Brownlee, R. T. (2004). Varying density with constant rectangularity: I. Effects on apple tree growth and light interception in three training systems over ten years. HortScience, 39(3), 501–506. https://doi.org/10.21273/hortsci.39.3.501

Lakso, A. N., Robinson, T. L., & Carpenter, S. G. (1989). The Palmette Leader: A Tree Design for Improved Light Distribution. HortScience, 24(2), 271–275. https://doi.org/10.21273/hortsci.24.2.271

Llorens, J., Cabrera, C., Escolà, A., Arnó, J. 2019. R software code to process and extract information from 3D Lidar point clouds. In: Poster Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture, July 8-11, Montpellier, France. pp. 114. e-book publication. SupAgro Montpellier. ISBN 978-2-900792-49-0.

Lopez, G., Hossein Behboudian, M., Girona, J., Marsal, J. (2012). Drought in Deciduous Fruit Trees: Implications for Yield and Fruit Quality. In: Aroca, R. (eds) Plant Responses to Drought Stress. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_17

Pokovai, K., & Fodor, N. (2019). Adjusting ceptometer data to improve leaf area index measurements. Agronomy, 9(12), 1–13. https://doi.org/10.3390/agronomy9120866

Scherer A. Batch Effect and Experimental Noise in Microarray Studies: Sources and Solutions (2009), John Wiley & Sons

Tustin, D. S., Breen, K. C., & van Hooijdonk, B. M. (2022). Light utilisation, leaf canopy properties and fruiting responses of narrow-row, planar cordon apple orchard planting systems—A study of the productivity of apple. Scientia Horticulturae, 294(April 2021), 110778. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110778

Zhong, Y., Fei, L., Li, Y., Zeng, J., & Dai, Z. (2019). Response of fruit yield, fruit quality, and water use efficiency to water deficits for apple trees under surge-root irrigation in the Loess Plateau of China. Agricultural Water Management, 222(May), 221–230. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.035.

Tabla 1. Descripción de los parámetros geométricos y estructurales extraidos de la nube de puntos LiDAR cada 0.5 y 1 m a lo largo de la fila de manzanos.

Parámetro	Abbr.	Descripción
Secc.transversal (m^2)	CS	Superficie ocupada por la biomasa en un plano perpendicular al eje longitudinal de la hilera.
Porosidad	P	Relación entre el número de haces láser que atraviesan la cubierta (Bi) y el total de haces emitidos por el sensor LiDAR (Bt) cada 0.5 o 1 m a lo largo de las filas.
Frondosidad	L	Este parámetro se calculó como el inverso de la Porosidad (P).

Tabla 2. Resultados del Análisis Factorial. MP se refiere al marco de plantación.

	LLI (m^2)	LAI	Porosidad (%)	FI	DI	nºfrutos /árb	Rto (kg/ha)	Calibre (cm)	Peso (g)	MP (0.5 m)	MP (1 m)
Factor 1 (35 %)	**0.74**	**0.57**	**-0.48**	**0.81**	**-0.81**	**0.60**	0.26	**0.70**	**0.70**	-0.06	0.06
Factor 2 (31 %)	**0.30**	**0.61**	**-0.42**	0.24	-0.24	-0.27	**0.77**	-0.05	0.05	**0.98**	**-0.98**