

RESUMEN

El conocimiento del estado nutricional de los cultivos permite corregir o ajustar cualquier exceso o deficiencia nutricional en los mismos, a lo largo de su ciclo vegetativo, asegurando un alto rendimiento en la producción y una óptima calidad del fruto. Tradicionalmente, para la realización del diagnóstico nutricional se ha utilizado el análisis de la ionómica de diferentes órganos de la planta, especialmente las hojas, por su facilidad de muestreo y por ser el órgano fotosintético de excelencia en las plantas. Estos análisis se realizan mediante costosos métodos convencionales de laboratorio que son destructivos, contaminantes y, además consumen mucho tiempo y dinero. Por ello es necesario implementar estrategias sostenibles que nos permitan ajustar la dosis de fertilización según las necesidades del cultivo con el mínimo riesgo de contaminación. El objetivo de esta tesis doctoral es desarrollar métodos y modelos que permitan el diagnóstico nutricional en cultivos mediante métodos ópticos no destructivos, como la espectroscopia y la imagen hiperespectral en el rango Vis-NIR, en combinación con técnicas de quimiometría. Con este fin se realizaron cuatro ensayos en los que se evaluó el potencial de estas tecnologías para la predicción del estado nutricional en dos cultivos de gran importancia socioeconómica en la Comunidad Valenciana, como lo son el caqui, en el cv. 'Rojo Brillante' y los cítricos, en la mandarina cv. 'clementina de Nules'.

De este modo, el primer bloque centrado en el cultivo de caqui cv. 'Rojo Brillante', comprende los estudios publicados en dos artículos científicos. En el primero de estos artículos se estudió el potencial de la espectroscopia Vis-NIR (430-1040 nm), con el objetivo de predecir macros y micronutrientes utilizando modelos de regresión PLS. Los resultados mostraron que es posible predecir de forma precisa macronutrientes como, fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio (Mg), con un coeficiente de determinación en la predicción (R^2_p) de 0,78 a 0,63. En los micronutrientes, el boro (B) y el manganeso (Mn) fueron los que obtuvieron mejores coeficientes de predicción, con R^2_p de 0,79 y 0,69, respectivamente. En el segundo artículo se ha evaluado, para la estimación de la concentración de nutrientes, el uso de imágenes hiperespectrales en el rango entre 500 y 980 nm. Los resultados mostraron la predicción de los macronutrientes como N, P, potasio (K), Ca y Mg con R^2_p de 0,80 a 0,62 y, para los micronutrientes, solo en el B se obtuvo un valor aceptable para la estimación ($R^2_p = 0,69$). Además, utilizando el método de reducción de variables de influencia en la proyección (VIP) se obtuvo una predicción fiable para los nutrientes de N ($R^2_p = 0,76$) y B ($R^2_p = 0,61$).

En el segundo bloque, se ha estudiado otro cultivo emblemático en la Comunidad Valenciana por su importancia social y económica, como son los cítricos. En este caso, se desarrollaron herramientas de estimación del cv. 'clementina de Nules', descritas en otros dos artículos científicos. En el tercer artículo se ha estudiado la capacidad de la espectroscopia para determinar la concentración de nutrientes en las hojas de los cítricos en un ciclo vegetativo completo. Los resultados mostraron una predicción con un R^2_p de 0,70 a 0,65 para el P, K Ca y B. Utilizando el coeficiente de regresión de peso (BW) se determinó un subconjunto de bandas importantes para determinar la concentración de P, K y B. Los resultados mostraron que las bandas de mayor relevancia para estos nutrientes se situaron en la región del visible (430-750 nm), asociada a la absorción de pigmentos fotosintéticos. Finalmente, en el cuarto artículo se ha estudiado el potencial de la imagen hiperespectral para discriminar entre hojas jóvenes y hojas de ciclos vegetativos anteriores, lo que mejoraría el diagnóstico dado que las tablas de referencia en este cultivo están realizadas en hojas de la brotación de primavera. Partiendo de esa hipótesis, se obtuvo que es posible realizar la discriminación entre ambos tipos de hojas. Se realizó un análisis exploratorio mediante análisis de componentes principales (PCA) y se construyó un modelo de discriminación basado en la regresión de mínimos cuadrados parciales discriminante (PLS-DA),

obteniendo una clasificación exitosa del 99,4 %. Posteriormente se realizó la predicción de concentración de nutrientes de hojas jóvenes, utilizando 49 bandas espectrales, obteniendo mejores resultados para los nutrientes P, K, Ca, hierro (Fe) y Mn con R^2_p de 0,69 a 0,60. Además, se realizó la predicción de estos nutrientes minimizando el número de bandas a diez, con el BW y se obtuvo un R^2_p de 0,67 a 0,57.

La presente tesis doctoral demuestra que la espectroscopia y la imagen hiperespectral Vis-NIR se potencian como herramientas alternativas a los métodos convencionales de laboratorio, en el diagnóstico nutricional de cultivos, pudiendo ser de gran ayuda para la corrección de forma rápida y fiable del plan de abonado de diferentes cultivos.