

## **Imágenes hiperespectrales para el estudio de la respuesta a la deficiencia de nitrógeno de distintos cultivares de patata**

A. López Maestresalas<sup>1</sup>, C. Jarén Ceballos<sup>1</sup>, J.I. Ruiz de Galarreta<sup>2</sup>, A. Álvarez Morezuelas<sup>2</sup>, L. Barandalla<sup>2</sup> y S. Arazuri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería, Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadia, 31006 Pamplona, España

<sup>2</sup> NEIKER-BRTA, Instituto Vasco de Investigaciones Agrarias, Campus Agroalimentario de Arkaute, s/n, 01080, Arkaute, España

**Autor para correspondencia:** [ainara.lopez@unavarra.es](mailto:ainara.lopez@unavarra.es)

**Palabras clave:** *Solanum Tuberosum* L, imagen, quimiometría, cambio climático, clasificación, nitrógeno.

### **Resumen**

**El cambio climático es uno de los mayores retos de la agricultura moderna. El aumento del rendimiento de los cultivos en el futuro sólo será posible si pueden hacer frente a las consecuencias del cambio climático causado por el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. En el cultivo de la patata es muy probable que los estreses abióticos se incrementen considerablemente comprometiendo la sostenibilidad de su producción. A largo plazo, las condiciones de elevado CO<sub>2</sub> podrían alterar la toma y transporte de nutrientes, particularmente del nitrógeno (N). Esto conlleva la necesidad de seleccionar cultivares que por sus características genéticas, fisiológicas y agronómicas se adapten mejor a las condiciones del cambio climático global, particularmente a la eficiencia en el uso del N. Para ello, en este estudio, se ha empleado la tecnología de imágenes hiperespectrales con el objetivo de desarrollar modelos de clasificación de variedades más eficientes en el uso del N. Se han muestreado plantas de dos campos experimentales: control y con una reducción del 75% de aporte de N. Se han adquirido imágenes hiperespectrales de 120 hojas de las plantas control y 120 de plantas sometidas a una reducción del 75% de aporte de N. Se han aplicado métodos multivariantes de clasificación para comprobar el potencial de las imágenes hiperespectrales en la identificación de cultivares de patata mejor adaptados a una deficiencia de N, con resultados prometedores. Además, para evaluar la respuesta de las plantas a las diferentes dosis de N, se analizará el contenido total de N, lo que permitirá evaluar la eficiencia en el uso del N en función de la productividad, así como la concentración de metabolitos nitrogenados.**

### **INTRODUCCIÓN**

El cambio climático es uno de los mayores retos de la agricultura moderna. Los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se han incrementado de forma exponencial y una de las consecuencias sobre el cultivo de la patata es probablemente un incremento de los estreses abióticos. A largo plazo, las condiciones de elevado CO<sub>2</sub> podrían alterar la toma y transporte de nutrientes, particularmente del nitrógeno (N) (Easlon y Bloom, 2013). Este hecho puede comprometer la sostenibilidad de la producción de este cultivo (George et al., 2017). Además, una deficiencia de nitrógeno se ve reflejada en una menor producción de almidón en el tubérculo (Iwama, 2008). Esto conlleva la necesidad de seleccionar cultivares que por sus características genéticas, fisiológicas y agronómicas se adapten mejor a las condiciones del cambio climático global, particularmente a la eficiencia en el uso del N.

Por tanto, resulta de gran interés identificar qué cultivares responden mejor frente a esta consecuencia derivada del cambio climático. A este respecto, las tecnologías basadas en imagen presentan grandes ventajas a la hora de afrontar este reto dado que son capaces de adquirir datos de un elevado número de plantas, de forma rápida y no-destructiva lo que permite realizar una caracterización fiable de los cultivos (Walter et al., 2015). Por todo ello, el objetivo de este estudio es evaluar el potencial de la tecnología de imágenes hiperespectrales para identificar la respuesta a la deficiencia de N en patata.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Material vegetal**

En este estudio se emplearon hojas de diferentes variedades de patata para su adquisición por HSI. Se seleccionaron 240 hojas que se recogieron manualmente de un ensayo realizado en una finca experimental en Arkaute (Álava, España) perteneciente al Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario (NEIKER). Los tubérculos se sembraron el 15 de mayo y se recogieron las hojas el 15 de julio de 2019. El cultivo precedente había sido cebada. Dicho ensayo correspondió a un estudio varietal cuyo objetivo fue identificar qué variedades se adaptaban mejor a condiciones de cultivo más restrictivas desde el punto de vista del abonado nitrogenado y del riego. Para ello se realizaron tres tratamientos en patata, el primero denominado “control”, el segundo “déficit de nitrógeno” y el tercero “estrés hídrico”.

Cada ensayo se compuso de 150 variedades (las mismas para los tres ensayos) y dos repeticiones de 5 plantas cada repetición. Cada variedad en cada uno de los ensayos estaba representada en una parcela elemental de dos surcos de 5 plantas por surco con un total de 10 plantas. Los bordes de los ensayos fueron plantados con las variedades comerciales Monalisa y Kennebec. El ensayo normal o de control y el ensayo sin riego (estrés hídrico) se abonaron dos veces: primero se realizó un abonado de fondo con un abono complejo NPK 9-18-27 en el que se aportaron 90 unidades de N y, posteriormente, con el cultivo ya en crecimiento un abonado de cobertura del mismo tipo y con la misma dosis. Sin embargo, en el ensayo de déficit de nitrógeno únicamente se aportó abono al principio, con un abonado de fondo con la mitad de la dosis, es decir 45 unidades de N y posteriormente no se aplicó una segunda aportación de abono. Es decir, se redujo un 75% el aporte de Nitrógeno.

Para este estudio solo se tuvieron en cuenta algunas de las variedades sometidas al ensayo control y al de déficit de nitrógeno (6 variedades/ensayo). Las 6 variedades seleccionadas fueron: Alibaba, Baraka, Laudine, Mayka, Romani y Ventana. El 15 de julio de 2019 se recolectaron 20 hojas por tratamiento y variedad (240 en total) y se enviaron a la Upna para el análisis de imagen, realizado el mismo día.

### **Análisis de imagen**

Las imágenes de las hojas se adquirieron con un sistema hiperespectral de escaneado lineal en el infrarrojo cercano (NIR), de 900 a 1700 nm. Este sistema incluye una cámara Xeva de resolución 320x256 píxeles, acoplada a un espectrógrafo y a una lente. Además, se dispone de una plataforma lineal para desplazar las muestras debajo del campo de visión del equipo y un sistema de iluminación compuesto por 4 lámparas halógenas de 46W (Lexman). EL sistema se controla a través de un ordenador mediante el software específico Xeneth 2.5.

El procesamiento de las imágenes se compuso de varios pasos. En primer lugar, es necesario formar la imagen en 3D, o hipercubo. En segundo lugar, las imágenes se

segmentaron para separar la región de interés (ROI), en este caso la hoja completa, del fondo. A continuación, se realizó el despliegue o *unfolding*, que consiste en pasar la información almacenada en el hipercubo (3D) a una matriz bidimensional (2D) que contiene la reflectancia de cada pixel en cada longitud de onda. Por último, se calculó el espectro medio de cada hoja para el posterior análisis discriminante en el cual se empleó un 70% de las muestras, seleccionadas de forma aleatoria, como grupo de calibración para el desarrollo del modelo discriminante y el 30% restante se utilizó para validar externamente el modelo. Se realizó un análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales (PLSDA) y un análisis de  $k$ -vecinos más cercanos (knn) y se aplicaron diferentes pretratamientos matemáticos a los datos.

Todo el procesamiento de imágenes se realizó en MATLAB R2020b (The Mathworks, Natick, MA) mediante código propio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espectro medio por tratamiento de las diferentes muestras (Fig. 1a) no mostró diferencias ni en la magnitud de reflectancia ni en la forma del espectro a lo largo de todo el rango espectral. Sin embargo, el espectro medio por cultivar, independientemente del tratamiento (Fig. 1b), sí mostró diferencias en la magnitud de reflectancia para las distintas variedades, especialmente al inicio y al final del espectro.

En la matriz de color (Fig. 2) se muestran los porcentajes de muestras bien clasificadas para los dos modelos desarrollados PLSDA y knn según el pretratamiento matemático aplicado a los datos. Conforme el color más se asemeja al rojo, mejores clasificaciones se obtuvieron. Se puede ver como es el clasificador knn con 3  $k$  y con la combinación de pretratamientos de Variable Normalizada Estándar (SNV) seguida de 1ª derivada (1D) y centrado medio (CM) el que mejores resultados de clasificación obtuvo, superiores al 90% de muestras correctamente clasificadas (% CC). Es decir, se identificaron diferencias espectrales en hojas del ensayo control, y en hojas sometidas a un abonado deficitario en fases muy tempranas. Analizando los resultados por variedad, se observó cómo todas las muestras del cultivar Alibaba se comportaron espectralmente de la misma manera, sin distinguir el tratamiento, es decir, presentaron menor sensibilidad a la variación del abonado.

Por tanto, se concluye en este estudio que la técnica HSI combinada con métodos de clasificación consiguió identificar variaciones entre los tratamientos control y déficit de N en fases muy tempranas de desarrollo del cultivo. Por lo que el empleo de HSI y métodos de clasificación supervisados presenta potencial para la identificación de la respuesta a la deficiencia de nitrógeno de distintos cultivares de patata.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en el marco del Proyecto GENIRPAT “Mejora genética integrada de patata: incorporación de la espectroscopia NIR para estreses abióticos y calidad de procesado” (PID2019-109790RR-C22) por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en la convocatoria 2020-2023.

## Referencias

Easlon, H. M. y Bloom, A. J. 2013. The effects of rising atmospheric carbon dioxide on shoot-root nitrogen and water signalling. *Frontiers in Plant Science*, 4, 304.

George, T. S., Taylor, M. A., Dodd, I. C. y White, P. J. 2017. Climate change and consequences for potato production: A review of tolerance to emerging abiotic stress. *Potato Research*, 60(3–4): 239–268.

Iwama, K. 2008. Physiology of the potato: new insights into root system and repercussions for crop management. *Potato Research*, 51(3–4): 333.

Walter, A., Liebisch, F. y Hund, A. 2015. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. *Plant Methods*, 11(1): 1–11.

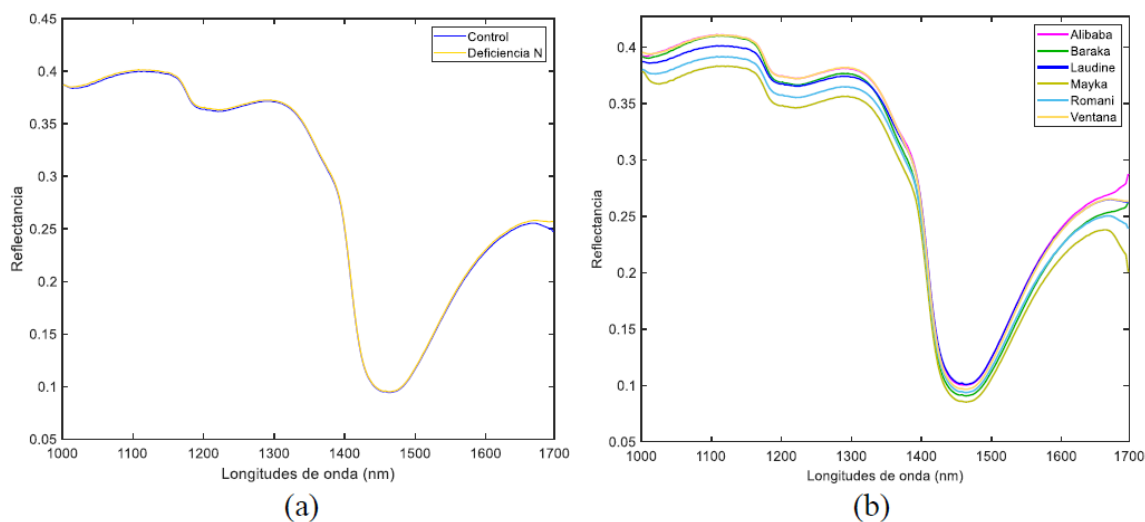


Fig. 1. Espectros medios de reflectancia: (a) por tratamiento; (b) por variedad.

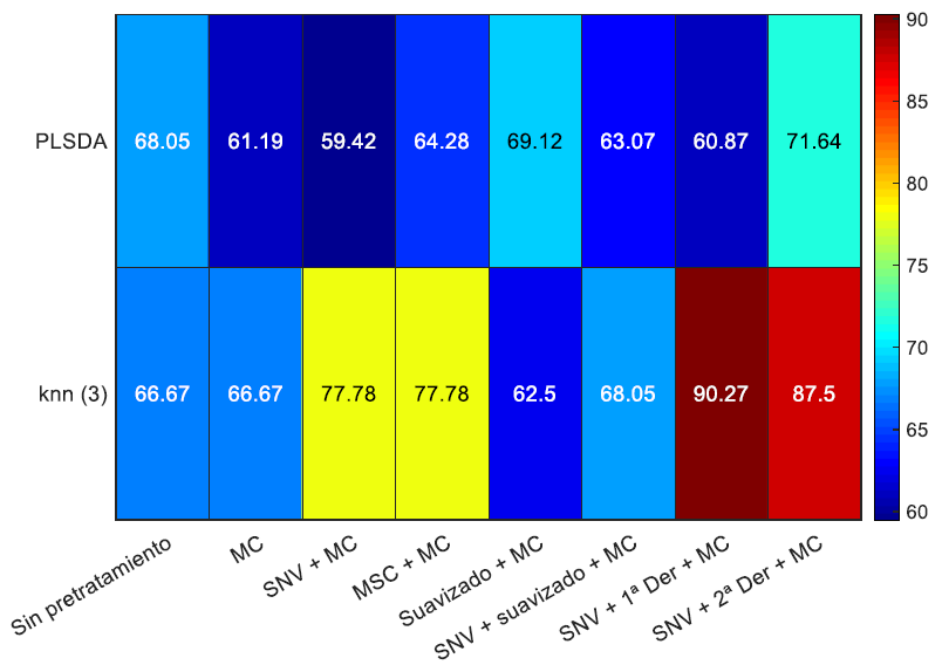


Fig. 2. Evaluación del rendimiento de la clasificación de los grupos de validación cruzada utilizando la métrica % CC. Cada fila corresponde a un algoritmo de clasificación y cada columna a una técnica de pretratamiento. La clasificación óptima se obtiene para valores % CC iguales a 100 (en rojo).