



Evaluación de las pérdidas en patata durante su almacenamiento por punción y tecnología NIRS

C. Jarén¹, C. Pérez-Roncal¹, A. López-Maestresalas¹, R. Pérez-García¹, S. Arazuri¹ y J. I Ruiz de Galarreta²

¹ Dpto. Ingeniería, Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadia, 31006 Pamplona, España; cjaren@unavarra.es

² NEIKER-Tecnalia, Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario. Campus Agroalimentario de Arkaute. Apto 46, E-01080, Vitoria, España

Resumen: La industria alimentaria se enfrenta al reto de ofrecer productos de mayor calidad, siendo los parámetros texturales los comúnmente empleados para el control de la misma. Factores como la variedad y el almacenamiento condicionan el destino de los tubérculos y tienen un impacto directo sobre su calidad. El objetivo de este estudio consistió en estudiar la viabilidad de la tecnología NIRS y de ensayos texturales para discriminar patatas en función de la calidad y el tiempo de almacenamiento. Se utilizaron 250 patatas de 25 variedades, que se conservaron refrigeradas en los 3 meses de ensayos. Cada 2 semanas se determinó el peso y la textura mediante ensayos de punción con texturómetro de 50 patatas (2 por variedad), además se adquirieron los espectros de reflectancia con un espectrofotómetro AOTF-NIR (1100-2300 nm). Por un lado, se analizaron los datos de peso y textura mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Por otro, se realizó un análisis discriminante (DA) con las variables texturales y un análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) con los datos espectrales, para conseguir diferenciar los tubérculos según el tiempo de almacenamiento. Se observó una disminución del peso medio y de la textura de las patatas a lo largo del almacenamiento, debido a la pérdida de humedad y, por tanto, de firmeza. El porcentaje de bien clasificados fue de un 40% para el DA desarrollado con las variables texturales, y de un 76,39% con el PLS-DA combinado con un pretratamiento de los datos espectrales con SNV y *detrend*.

Palabras clave: análisis discriminante, calidad, textura, reflectancia NIR, *Solanum tuberosum* L

1. Introducción

La patata (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimentarios que mayor producción y consumo presenta a nivel mundial [1], experimentando en los últimos años un crecimiento de la producción debido a su alto rendimiento y valor nutritivo.

En la actualidad, la industria alimentaria se enfrenta al reto de ofrecer a los consumidores productos de mayor calidad, cumpliendo los requisitos impuestos por los organismos reguladores en temas de seguridad alimentaria y trazabilidad [2]. En el caso de la patata, los principales atributos de calidad que condicionan su aceptabilidad en el mercado son el tamaño, el aspecto general, el color y la textura [3], siendo los parámetros texturales los que se utilizan generalmente para controlar la calidad de los tubérculos a lo largo de toda la cadena de valor. Además, factores como el tiempo óptimo de cosecha, la variedad y el almacenamiento condicionan el destino de los tubérculos y tienen un impacto directo sobre su calidad.

Tradicionalmente la textura se ha evaluado mediante análisis sensoriales o técnicas instrumentales, que son métodos destructivos y que requieren tiempo para su realización [4]. En

los últimos años, se han incorporado tecnologías rápidas y no destructivas, como la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), que ha demostrado ser una alternativa factible a los métodos analíticos comúnmente empleados en la evaluación de calidad [5].

El objetivo de este trabajo se centra en evaluar la viabilidad de la tecnología NIRS y de ensayos texturales de punción para discriminar patatas en función de la calidad y el tiempo de almacenamiento.

2. Materiales y métodos

2.1. Material vegetal

En la realización de este estudio se utilizaron un total de 250 patatas de 25 variedades diferentes (10 tubérculos por variedad) pertenecientes al Banco de Germoplasma del Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario (NEIKER-Tecnalia). Los tubérculos, cosechados en la campaña de 2017, se recogieron en el centro que NEIKER-Tecnalia posee en Arkaute (Álava) y se trasladaron a la Universidad Pública de Navarra donde se conservaron refrigerados (8 °C; 90% HR) durante los 3 meses de ensayos (diciembre 2017 - marzo 2018). Aproximadamente cada 18 días se seleccionaron al azar 2 tubérculos por variedad (50 en total) y, tras identificarlos, se analizó la calidad de los mismos midiendo el peso, los espectros NIR y la textura. Después de realizar los ensayos, los tubérculos (50 cada día) eran desechados.

2.2. Propiedades físicas: Peso y textura

Para determinar el peso de los tubérculos y así poder analizar la evolución del peso a lo largo del periodo de almacenamiento, se utilizó una balanza de precisión Mettler Toledo SB16001 (peso en gramos; error $\pm 0,1$ g).

El análisis textural se realizó mediante ensayos de punción con un analizador de textura TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd, UK) utilizando el programa informático Texture Exponent y tomando como referencia los ensayos descritos por [6]. Se realizaron 4 punciones en la zona ecuatorial del tubérculo (posiciones opuestas y perpendiculares dos a dos) utilizando la sonda de aguja de punción (P/2N) de acero inoxidable y fijando como parámetros de ensayo una velocidad de $0,5 \text{ mm s}^{-1}$ y una profundidad de penetración de 20 mm. Como variables de estudio se consideraron la fuerza máxima (N) y la pendiente de la curva de carga (N mm^{-1}), empleando posteriormente el valor medio de cada tubérculo en los análisis.

2.3. Propiedades ópticas: espectros NIR

Los espectros de reflectancia NIR de las patatas se obtuvieron con un analizador Luminar 5030 Miniature AOTF-NIR (Filtro Optoacústico Ajustable-Infrarrojo Cercano) (Brimrose, Baltimore, MD, USA). Se trata de un espectrofotómetro portátil con detector InGaAs que permite realizar medidas de reflectancia en el rango espectral de 1100 a 2300 nm con una velocidad de escaneo de 16000 longitudes de onda por segundo. En este estudio las señales emitidas por el detector fueron registradas con el programa informático Brimrose Analytical Software SNAP32! y transferidas a Unscrambler X (CAMO software, Oslo, Norway).

El espectro adquirido en cada medición se obtuvo como el promedio de 50 espectros, realizando en este caso las mediciones en intervalos de 2 nm en el rango 1100-2300 nm (601 valores de reflectancia por espectro). Se escanearon 4 puntos de la zona ecuatorial (opuestos y perpendiculares dos a dos) sobre los tubérculos crudos y sin pelar, utilizándose posteriormente el espectro medio de cada patata en los análisis.

2.4. *Análisis estadístico: ANOVA*

Los datos de peso y textura, obtenidos en cada día de ensayo, se estudiaron estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA) para determinar si existan diferencias significativas entre grupos de datos. Se realizó un ANOVA para cada variable de estudio por separado (peso, fuerza máxima y pendiente) teniendo en cuenta los factores día de ensayo y variedad de patata, con un nivel de confianza del 95%. En aquellos casos en los que existían diferencias significativas, se realizó un test de comparación de medias de Duncan. Los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico SPSS (versión 23, SPSS Chicago, IL).

2.5. *Análisis multivariante de datos*

Para conseguir clasificar los tubérculos en función de la pérdida de calidad que experimentan las patatas a lo largo del periodo de almacenamiento, se realizaron dos tipos de análisis cualitativos: un análisis discriminante (DA) con las variables texturales (fuerza máxima y pendiente) y un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) con los datos espectrales. En ambos casos se consideraron 4 grupos de clasificación, en función de los resultados del test ANOVA obtenidos para la variable textural fuerza máxima. Las clases se definieron como: Grupo 1 (día 1), Grupo 2 (día 19), Grupo 3 (día 36) y Grupo 4 (días 54 y 72). En los análisis no se consideró el factor variedad de manera independiente, al disponer de pocos tubérculos por variedad, si no que se estudiaron todas las patatas en su conjunto, aportando así una mayor variabilidad a los datos.

El DA es un método supervisado que busca la combinación lineal de las variables independientes que mejor explique los datos y que pueda diferenciar dos o más clases [7]. En este estudio se realizó un DA para las dos variables texturales juntas con SPSS (versión 23, SPSS Chicago, IL), evaluando la precisión del modelo con el porcentaje de muestras clasificadas correctamente (% CC) para cada grupo en la validación cruzada (CV).

El PLS-DA se trata de una técnica de reconocimiento de patrones donde la pertenencia a una clase se predice a partir de los espectros de las muestras por medio de la regresión PLS [8]. En este estudio, el 70% (175 muestras) de los datos iniciales se utilizó para la calibración y CV (método de persianas venecianas con 10 divisiones) del modelo, mientras que el 30% restante (75 muestras) se empleó para validarlo externamente.

Se aplicaron diferentes tratamientos a los datos espectrales, que incluían técnicas para la corrección de la dispersión y derivadas [9]. La precisión de los modelos PLS-DA desarrollados se evaluó considerando el % CC y los valores de sensibilidad y especificidad para cada grupo obtenidos en la validación externa. Tanto el tratamiento como el análisis discriminante de los datos se realizaron con el programa PLS-Toolbox (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, WA) en MATLAB R2018a (The MathWorks, Natick, MA).

3. **Resultados y discusión**

La Tabla 1 muestra los resultados del test de Duncan obtenidos para el peso medio de cada variedad. Como se puede apreciar las patatas presentaron pesos muy diversos debido al propio genotipo de la variedad. Se observaron diferencias significativas entre las variedades Agria y Mirari (248 g frente a 83 g de peso medio), registrando unas diferencias de peso superiores al 66%. Además, la variabilidad individual dentro de cada variedad fue importante (26,7% aprox.), llegando a alcanzar en los casos más extremos unas diferencias de peso del 49% (Leire o Harana).

Tabla 1. Peso medio (g) y desviación estándar de cada variedad de patata. Las letras indican si existen diferencias significativas ($p < 0,05$) de peso entre variedades (Test Duncan).

Variedad	Peso medio (g)	Variedad	Peso medio (g)
Agria	248,28 ± 124,81 a	Liberta	121,51 ± 45,17 fgh
Zorba	216,29 ± 75,90 ab	Brodick	120,17 ± 33,66 fgh
Leire	214,36 ± 46,19 ab	Orchestra	109,27 ± 24,79 fgh
Kennebec	208,22 ± 73,81 ab	Draga	104,25 ± 35,47 gh
Ikerne	203,54 ± 59,87 abc	Ambition	103,65 ± 33,00 gh
Picobello	182,74 ± 65,95 bcd	Rodeo	103,54 ± 34,05 gh
Monalisa	175,98 ± 83,64 bcde	Sante	102,43 ± 27,43 gh
Roja Riñon	158,00 ± 63,68 cdef	Action	98,65 ± 39,47 gh
Harana	139,90 ± 29,93 defg	Nela	97,87 ± 30,14 gh
Europrima	139,23 ± 30,66 defg	Soprano	97,57 ± 34,40 gh
Martina	133,13 ± 39,87 efgh	Entzia	94,39 ± 15,38 gh
Miren	132,16 ± 17,01 efgh	Mirari	83,69 ± 27,70 h
Megara	129,00 ± 34,00 efgh		

En la Figura 1 aparece representada la evolución del peso medio de los tubérculos durante el periodo que estuvieron almacenados. En líneas generales se observó una disminución del peso medio a lo largo del almacenamiento, existiendo diferencias significativas entre las patatas del primer (día 1) y del último día (72 días de almacenamiento) de ensayos. Las variedades que menor pérdida de peso sufrieron durante los 72 días (datos no mostrados) fueron Soprano y Zorba (1%), siendo Europrima la que mayores pérdidas obtuvo (11,31%).

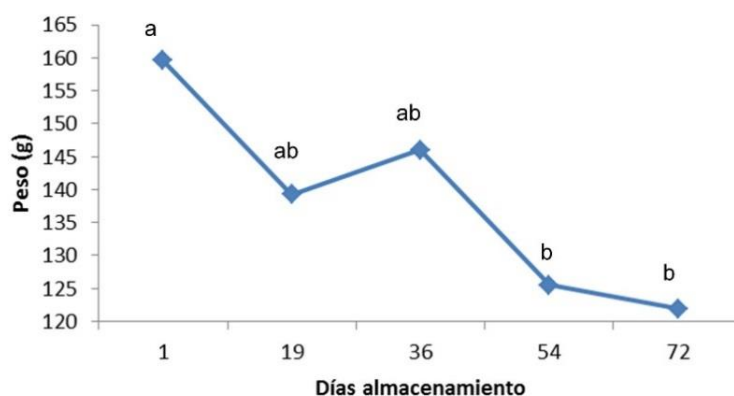


Figura 1. Evolución del peso medio (g) de las patatas a lo largo del almacenamiento. Las letras indican si existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los días (Test Duncan).

Con respecto a las variables de textura, se observó una tendencia descendente tanto de la fuerza máxima como de la pendiente a lo largo del almacenamiento de los tubérculos (Figura 2), existiendo diferencias significativas entre las patatas del día 1 y las almacenadas 72 días. Esta tendencia concuerda con los resultados de peso obtenidos, ya que con el tiempo se produce una pérdida de humedad en las patatas y por tanto de firmeza. Cuanto mayor es el contenido de agua en las patatas, más turgentes y firmes se encuentran, produciéndose en los ensayos de punción una fractura frágil de las células [10]. En las variedades de patata más firmes, como Zorba, la fuerza necesaria para penetrar los tubérculos en los ensayos (12,40 N) fue mayor que la resistencia que ofrecieron variedades menos firmes, como Nela, que apenas requirieron 8 N.

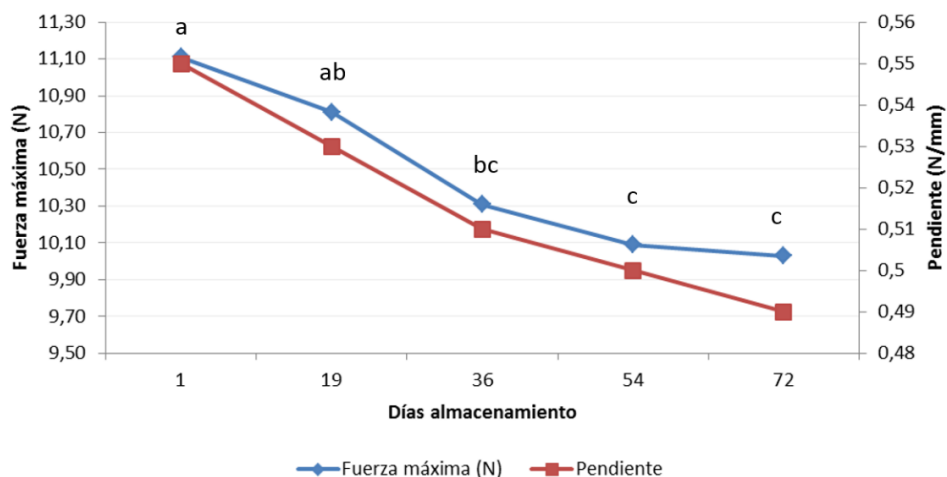


Figura 2. Evolución de la fuerza máxima (N) y la pendiente (N/mm) durante el almacenamiento de los tubérculos. Las letras indican si existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los días (Test Duncan).

En la Tabla 2 se muestran los resultados de clasificación obtenidos en los modelos desarrollados en este estudio considerando 4 clases en los datos según el tiempo de almacenamiento. En el caso del DA realizado con las variables texturales se especifica: el número de datos (n) empleados, el porcentaje total de patatas clasificadas correctamente (% CC) en la CV y la varianza explicada. En los PLS-DA desarrollados con los espectros NIR se especifica: el número de datos (n) empleados en la construcción del modelo, los pretratamientos aplicados a los datos espectrales, el número de variables latentes (LVs) empleadas, el % CC total obtenido en la validación externa y la varianza explicada por cada modelo.

Tabla 2. Resumen de los resultados de clasificación obtenidos en los análisis DA y PLS-DA.

Análisis	Variables	n	Pretratamiento	LVs	% CC	Varianza (%)
DA	Fmax -pendiente	243	-	-	40	100
		167	MSC	9	76,38	99,90
		166	MSC+1der	5	61,97	96,01
PLS-DA	NIR	179	SNV	9	70,83	99,84
		166	SNV+1der	5	64,79	95,98
		170	SNV+DT	9	76,39	99,98

Los modelos discriminantes desarrollados con los datos espectrales (PLS-DA) obtuvieron porcentajes de clasificación más elevados (>61%) que el desarrollado para las variables texturales (DA), en el que el porcentaje total de muestras clasificadas correctamente fue de tan solo un 40%. Estos resultados indican que, en este caso, no es posible clasificar las patatas según el tiempo de almacenamiento a partir de la textura, cuando se consideran como variables de estudio fuerza máxima y pendiente de la curva de carga obtenidas mediante ensayos de punción.

De todos los modelos PLS-DA (Tabla 2), los mejores resultados se obtuvieron para el modelo desarrollado con 9 LVs y la combinación de pretratamientos SNV (*Standard Normal Variate*) seguido de *Detrend* (DT), consiguiendo un % CC del 76,36% (99,98% de varianza explicada). En este modelo (Tabla 3), las muestras pertenecientes al Grupo 2 presentaron el mayor porcentaje de acierto con un 93,33% CC, siendo el Grupo 1 el que obtuvo el porcentaje más bajo (66,67% CC). De igual manera, fue el Grupo 2 el que obtuvo los mejores resultados de sensibilidad y especificidad (0,993 y 0,980 respectivamente), indicando que las muestras del Grupo 2 están mejor clasificadas dentro del grupo al que pertenecen que las del resto de grupos.

Tabla 3. Matriz de confusión y valores de sensibilidad y especificidad obtenidos en la validación externa del modelo PLS-DA con los pretratamientos SNV+DT.

	Grupo real (%)				Sensibilidad	Especificidad	
	1	2	3	4			
Grupo estimado(%)	1	66,67	0	7,14	10,71	0,867	0,825
2	0	93,33	0	3,58	0,933	0,980	
3	6,67	0	71,43	10,71	0,857	0,879	
4	26,66	6,67	21,43	75	0,679	0,682	

4. Conclusiones

Este estudio demuestra el potencial de la espectroscopía NIR para discriminar tubérculos crudos de patata en función de la pérdida de calidad ocasionada durante el almacenamiento. Se observó una disminución del peso medio (en torno al 2,16% en todas las variedades ensayadas) y de la textura a lo largo de los 72 días de almacenamiento, debida a la pérdida de humedad y firmeza producida en las patatas.

Los modelos PLS-DA desarrollados para clasificar los tubérculos según sus espectros NIR obtuvieron los mayores porcentajes de acierto (>61%), siendo el PLS-DA con los pretratamientos SNV+DT el modelo con mejores resultados, llegando a clasificar correctamente un 76,39% de muestras.

Los resultados obtenidos en este estudio plantean la necesidad de seguir investigando en este campo, considerando un menor número de variedades con más muestras por variedad o probando métodos instrumentales y técnicas de clasificación distintas, y así poder alcanzar estrategias de control más robustas que permitan garantizar la calidad de los tubérculos.

5. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto INIA-FEDER RTA2013-00006-C03-01-03, el Gobierno Vasco, y la Universidad Pública de Navarra a través de la concesión de una ayuda para la Formación de Personal Investigador predoctoral 2017.

Referencias

1. FAO. Cultivos. 2017. Consulta 14/05/2019, en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
2. Grassi S., Alamprese C. Advances in NIR spectroscopy applied to process analytical technology in food industries. *Current Opinion in Food Science*. 2018, 22, 17-21.
3. Kaur L., Singh J., Singh N., Ezekiel R. Textural and pasting properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) as affected by storage temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007, 87, 520–526.
4. Chen L., Opara U.L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods – A review. *Food Research International*. 2013, 51(2), 823-835.
5. López-Maestresalas, A. Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging for non-destructive quality inspection of potatoes. Universidad Pública de Navarra. 2016.
6. Kumar S., Khade H.D., Dhokane V.S., Behere A.G., Sharma A. Irradiation in combination with higher storage temperatures maintains chip-making quality of potato. *Journal of Food Science*. 2007, 72(6), S402–S406.
7. Naes T., Isaksson T., Fearn, T., Davies T. A user friendly guide to multivariate calibration and classification. NIR Publications, Chichester, UK. 2002.
8. Barker M., Rayens W. Partial least squares for discrimination. *Journal of Chemometrics*. 2003, 17(3), 166–173.
9. Nicolai B.M., Beullen K., Bobelyn E., Peirs A., Saeys W., Theron K.I., Lammertyn J. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 2007, 46, 99–118.
10. Heltoft P., Wold A.B., Molteberg E.L. Effect of ventilation strategy on storage quality indicators of processing potatoes with different maturity levels at harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 2016, 117, 21-29.