



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**MASTER EN BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL Y
AGROALIMENTARIA**

Aplicación de la Tecnología NIRS para su uso en programas de mejora de la calidad en pimiento

Eva M^a Toledo Martín

Septiembre 2013

Directoras:

**Dra. Mercedes del Río Celestino
Dpto. Mejora y Biotecnología de Cultivos
IFAPA Centro La Mojonera
Almería**

**Prof. Dra. María Salinas Navarro
Dpto. Departamento de Biología Aplicada
Área de Genética
Universidad de Almería**

Resumen	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. MATERIAL Y MÉTODOS	4
2.1 Material vegetal	4
2.2 Metodología	4
2.2.1. Métodos de referencia	4
2.2.2. Análisis NIRS	7
2.3. Análisis estadístico	9
3. RESULTADOS	10
3.1. Caracterización	10
3.1.1. Parámetros físicos y sensoriales	10
3.1.2. Parámetros nutricionales	11
3.2. Análisis NIRS	12
3.2.1. Espectro NIRS	12
3.2.2. Parámetros físicos y sensoriales	13
3.2.3. Parámetros nutricionales	13
4. DISCUSIÓN	13
4.1. Caracterización	13
4.1.1. Parámetros físicos y sensoriales	13
4.1.2. Parámetros nutricionales	15
4.2. Análisis NIRS	16
4.2.1. Parámetros físicos y sensoriales	16
4.2.2. Parámetros nutricionales	17
5. CONCLUSIONES	18
6. AGRADECIMIENTOS	19
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

Tablas, figuras y fotografías

Tabla 1: Media y error estándar de los parámetros físicos: firmeza, peso del fruto, peso de la semilla, longitud, diámetro, grosor y °Brix que se determinaron para cada tipo de pimiento.	23
Tabla 2: Media y error estándar de los parámetros físicos: pH, ácido málico, parámetros del color, a, b, C, ángulo hue (h) y L que se determinaron para cada tipo de pimiento	24
Tabla 3: Media y error estándar de los parámetros nutricionales: compuestos fenólicos, clorofila a, clorofila b, carotenos y ácido ascórbico.	25
Tabla 4: Calibración y estadísticos de la validación cruzada para los parámetros físicos.	26
Tabla 5: Calibración y estadísticos de la validación cruzada para los parámetros nutricionales.	27
Figura 1. Espectros de reflectancia NIRS de muestras de pimiento.	28
Figura 2. Segunda derivada del espectro medio de reflectancia en el infrarrojo cercano de frutos de pimiento	29
Figura 3. Relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros físicos y sensoriales: parámetros del color (a, b, C, ángulo hue y L), firmeza, peso de fruto, peso de semilla y diámetro.	30
Figura 3 (Continúa). Relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros físicos y sensoriales: grosor, contenido en sólidos solubles, ácido málico y pH.	31
Figura 4. Relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros nutricionales: contenido en ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos.	31
Fotografía 1. a) Equipo Phazir Rx (Polychromix, TM) portátil y b) Equipo NIRS modelo 6500 (Foss-NIRSystems).	32

Resumen

La calidad interna y externa de los productos hortícolas es importante para satisfacer la demanda del consumidor. El aumento del valor nutricional o sensorial de un producto es un factor perseguido por la industria agroalimentaria. La Espectroscopía por Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) ofrece enormes expectativas en este terreno, particularmente derivadas de su carácter no destructiva, rápida y con posibilidad de ser incorporada tanto en programas de mejora genética como a nivel de línea de producción. El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una de las especies hortícolas con mayor superficie cultivada en España. Esta hortícola presenta un amplio rango de variedades con diversidad de características nutricionales y sensoriales. Las técnicas analíticas para determinar muchos de estos componentes de calidad implican protocolos costosos, largos y laboriosos. El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar y evaluar una metodología basada en la tecnología NIRS para la determinación de la calidad sensorial y nutricional del fruto de pimiento, para su aplicación en el control de calidad en la industria hortofrutícola y en la selección de germoplasma en programas de mejora genética. En este estudio se han determinado caracteres nutricionales y sensoriales de 14 variedades de pimiento. Se han estudiado parámetros sensoriales a partir de los frutos en fresco tales como firmeza, pH, sólidos solubles, ácido málico, color, grosor, longitud, diámetro, peso de fruto y de semilla. Los parámetros nutricionales con capacidad antioxidante estudiados fueron el contenido en carotenoides, clorofilas a y b, compuestos fenólicos y ácido ascórbico, determinándose desde muestra liofilizada. El desarrollo de los modelos de predicción NIRS se realizó utilizando un colectivo constituido por 150 muestras. Los resultados obtenidos mostraron una gran variabilidad sensorial y nutricional en las variedades de pimientos estudiadas, siendo de gran interés para el sector hortofrutícola.

En base a los valores de los coeficientes de determinación y del RPD (cociente entre la desviación típica y el error estándar de predicción) los modelos de predicción NIRS desarrollados para la determinación de los parámetros sensoriales y nutricionales en pimiento presentaron una adecuada capacidad predictiva para el peso de fruto, diámetro, grosor, peso de semilla, °Brix, pH, ácido málico, parámetros de color L, a, b, C y h, contenido en fenólicos totales y ácido ascórbico, y modelos muy buenos para el contenido en carotenoides totales que indican la viabilidad del empleo de la tecnología NIRS para la determinación de la calidad de frutos de pimiento.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de incrementar el valor añadido bruto de los productos hortofrutícolas andaluces, es actualmente una de las prioridades en materia agroalimentaria para la industria andaluza del sector, en este sentido distintas instituciones públicas y privadas en Andalucía abogan por el desarrollo de productos hortícolas con alto valor añadido como forma de incrementar el VAB de los productos comercializados en fresco.

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una de las especies hortícolas más populares a nivel mundial, utilizándose tanto en forma de hortaliza como de especia. En nuestro país es una de las especies hortícolas bajo invernadero con mayor superficie cultivada, localizándose casi la mitad de la producción en Almería, Alicante y Murcia. En Almería el cultivo de pimiento es el segundo en importancia tanto en superficie cultivada como en producción tras el cultivo de tomate. La superficie dedicada al cultivo de pimiento en la provincia de Almería en el año 2012 superó las 8.000 has con una producción de 541.870 tn (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 2013).

Los pimientos presentan una amplia variabilidad sensorial y nutricional, muchos de ellos con unas marcadas propiedades antioxidantes e importantes efectos biológicos (Howard *et al.*, 2000). Entre los caracteres sensoriales destacan la textura, tamaño, color, grosor de la pared, cantidad de semillas, acidez y ° Brix. Respecto a los niveles de los compuestos nutricionales, en el fruto destacan los niveles de carotenoides, vitamina A, vitamina C y compuestos fenólicos beneficiosos para la salud (Bosland y Votava, 2000; Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006).

Los frutos maduros de *C. annuum* son ricos en carotenoides, a los que se atribuye actividad antioxidante y anticancerígena, destacando cuantitativamente la capsantina y la capsorubina, entre los de tipo rojo, y zeaxantina, β -caroteno y β -criptoxantina, entre los de tipo amarillo, siendo estos dos últimos la principal fuente de vitamina A (Wall *et al.*, 2001). El consumo de alimentos ricos en carotenoides se ha asociado a una disminución en el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer (Giovannucci *et al.*, 1995) y otras enfermedades degenerativas y crónicas como la aterosclerosis (Klipstein-Grobusch *et al.*, 2000).

Junto a estos carotenoides, los pimientos maduros e inmaduros presentan una elevada concentración de compuestos fenólicos antioxidantes (Howard *et al.*, 2000). Los polifenoles son metabolitos secundarios que desempeñan una gran diversidad de funciones en las plantas, contribuyendo a la defensa frente a plagas y factores de estrés así como al sabor, aroma y color de frutas y hortalizas (Espin de Gea y Tomás-Barberán, 2006). Entre los polifenoles, los flavonoides son el grupo más abundante y se les atribuye una

importante actividad antitumoral, antioxidante y antivírica (Hertog *et al.*, 1992; Kaul *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1995).

La vitamina C, fundamentalmente en forma de ácido L-ascórbico, es esencial para evitar el escorbuto y está reconocido como uno de los agentes antioxidantes más potentes que existen en los productos vegetales. El contenido en ácido ascórbico suele ser muy alto en pimiento y es uno de los factores de calidad nutricional más importantes en *C. annuum* y especies relacionadas (Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006). El contenido en ácido ascórbico aumenta con la maduración del fruto, siendo máximo en el estado de plena madurez (Bosland y Votava, 2000).

Las técnicas analíticas para determinar muchos de estos componentes de calidad implican protocolos costosos, largos y laboriosos, con grandes cantidades de disolventes orgánicos, solventes de partición, y/o reacciones de saponificación (Schulz, 2000; Zandomenighi, 2000).

La Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano (NIRS, Near-Infrared Spectroscopy), reúne una serie de requisitos adecuados para que se puedan investigar y desarrollar sistemas de control de calidad de productos y procesos acordes con las nuevas demandas del sector hortofrutícola. Entre los principales atributos de esta tecnología destacan el ser una técnica no destructiva, su alta velocidad de respuesta, su bajo coste analítico por muestra, la nula o escasa necesidad de preparación de muestra, su versatilidad para el análisis de muy diversos productos y parámetros, su elevada reproducibilidad y repetitividad, la posibilidad de su incorporación en línea, así como el ser una técnica limpia que no utiliza reactivos y que, por tanto, no produce residuos (Garrido *et al.*, 1993; Garrido, 1997).

La técnica NIRS ofrece enormes expectativas, particularmente la posibilidad de ser incorporada a nivel de la línea de producción (ej. cadenas de envasado), permitiendo además estudiar simultáneamente diversos indicadores específicos de calidad de un producto, como se muestra en los numerosos trabajos publicados relativos a la aplicación de la tecnología NIRS en el análisis de frutas y hortalizas (Abbott, 1999; Slaughter y Abbott, 2004; Nicolai *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2008; Flores, 2009).

La búsqueda del incremento de valor añadido para esta especie se puede realizar desde el punto de vista de la calidad nutricional o funcional. Para ello, se ha propuesto como objetivo principal de este trabajo el desarrollar y evaluar una metodología basada en la tecnología NIRS para la determinación de la calidad sensorial y nutricional del fruto de pimiento, para su aplicación en el control de calidad en la industria hortofrutícola y en la selección de germoplasma en programas de mejora genética.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal

El material vegetal consistió en una colección de 14 tipos varietales de *C. annuum* procedentes de centrales hortofrutícolas de la provincia de Almería: pimiento tipo snack amarillo, naranja, rojo; tipo picante rojo, naranja, amarillo, verde; lamuyo rojo; california rojo, verde, amarillo; padrón; italiano verde y rojo. Los frutos se analizaron tanto en fresco como liofilizado.

Los frutos se obtuvieron al mismo tiempo a partir de una Central Hortofrutícola.

2.2. Metodología

2.2.1. Métodos de referencia

Para los parámetros físicos y sensoriales se utilizaron los frutos en fresco y para la determinación de los parámetros nutricionales se utilizó el producto liofilizado procedente de frutos frescos. Para la liofilización se utilizó el modelo Lyoquest (Testar) a partir de los frutos previamente congelados a -80°C. Los frutos de pimiento presentaron un rango de humedad del 84-90%.

Los métodos utilizados para los parámetros físicos, sensoriales, fueron:

Firmeza

Para la medida de la firmeza se utilizó un texturómetro (Texture Analyser TA.XT Plus, Stable Micro Systems Texture Analyzer, Surrey, UK) equipado con platos paralelos. Cada fruto fue comprimido 5 mm. a una velocidad de 10 mm./s. La firmeza fue medida como la máxima fuerza ejercida por el producto durante la compresión y se midió en Newton (N).

Contenido en sólidos solubles (°Brix)

El fruto troceado se homogeneizó con una batidora de cuchillas hasta licuar la pulpa. El zumo se centrifugó a 10000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se filtró y se extrajo una gota (aproximadamente 1 ml) que se colocó en el visor del refractómetro digital (Smart-1, Atago, Japón). Previo al análisis fue necesario calibrar el refractómetro con agua destilada a la temperatura de trabajo del laboratorio. El resultado se expresó como ° Brix.

Nivel de pH

El pH se determinó mediante un titulador automático (Metrohm, Compact Titrator) a partir del zumo filtrado del fruto, que se preparó como se ha descrito en el apartado anterior. Se colocó el electrodo de vidrio del pH-metro en la muestra y el display

digital del aparato nos dió el valor. Previamente a las medidas, el instrumento se calibró con las disoluciones patrón suministradas por el fabricante.

Ácidoz titulable

La acidez del fruto se expresó como el porcentaje del ácido predominante en la muestra, ya sea como % de ácido cítrico, málico, oxálico, etc. Se determinó mediante una valoración (volumetría) con un reactivo básico (0.1N NaOH). Se tomó una fracción exacta del zumo filtrado (2-5 ml) al que se añadió 50 ml de agua destilada y se tituló (Metrohm, Compact Titrosampler) con una solución de NaOH 0.1 N.

Color

El color del fruto fue determinado mediante un espectrofotómetro CM-700d (Konica Minolta Sensing Americas. Inc.. NJ. USA). Las coordenadas cromáticas estimadas fueron: L*, a* y b*, ángulo hue (h) y croma (c).

Grosor

El grosor del fruto fue determinado mediante un calibre digital.
Los resultados se expresaron en mm.

Longitud del fruto

La medida de longitud del fruto de pimiento se determinó mediante un calibre digital.
Los resultados se expresaron en mm.

Diámetro del fruto

El diámetro del fruto de pimiento se determinó mediante un calibre digital.
Los resultados se expresaron en mm.

Peso fruto y semilla

Tanto los frutos como las semillas de éstos fueron pesados en una balanza digital mod. Mettler Toledo.
Los resultados se expresaron en g.

Los métodos utilizados para los parámetros nutricionales fueron:

Contenido de carotenoides y clorofilas

La determinación del contenido en carotenoides y clorofilas a y b en fruto se llevó a

cabo mediante el método de Liechtenthaler modificado (Liechtenthaler, 1987).

Para ello, la muestra liofilizada del fruto se mezcló con acetona agitando energicamente en el vortex y dejándolo 24 horas en reposo. Posteriormente se centrifugó a 13000 rpm y tras 6 minutos se recogió el sobrenadante en tubo de ensayo colocado previamente en hielo. Este proceso se repitió tantas veces como fue necesario hasta que el residuo quedó incoloro. Posteriormente se midió la absorbancia en el sobrenadante a 663, 647 y 470nm por medio del espectrofotómetro (Thermo Evolution 300). Las concentraciones de clorofila a y b presentes en el extracto se calcularon utilizando como coeficientes de extinción a 663 nm y 647 nm, 74.46 y 18.3 $\text{mg}^{-1} \cdot \text{ml} \cdot \text{cm}^{-1}$, respectivamente. Los contenidos en clorofila a y b totales y carotenoides totales presentes en las muestras se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

Clorofila a

$$\text{Cla } (\mu\text{g/ml}) = (12.25 \cdot A_{663}) - (2.73 \cdot A_{647})$$

Clorofila b:

$$\text{Clb } (\mu\text{g/ml}) = (21.5 \cdot A_{647}) - (5.1 \cdot A_{663})$$

$$\text{Carotenoides totales } (\mu\text{g/ml}) = (1000 \cdot A_{663} - 3.27 [\text{Cla}] - 104 [\text{Clb}]) / 227$$

Los resultados se expresaron en $\mu\text{g/g}$ peso seco de fruto.

Contenido de compuestos fenólicos totales

La determinación del contenido en compuestos fenólicos totales del fruto se realizó aplicando el método descrito por Folin y Ciocalteu (1927) con ligeras modificaciones. El reactivo de Folin – Ciocalteu consiste en una mezcla de ácido fosfotungsténico ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) y de ácido fosfomolibdico ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$), que se reduce, por oxidación de los fenoles, a una mezcla de azul de tungsteno (W_8O_{23}) y de molibdeno (Mo_8O_{23}). La coloración azul producida posee una absorción máxima aproximadamente a 765 nm y es proporcional a la cantidad de compuestos fenólicos.

El método a utilizar en el análisis cuantitativo de estos compuestos se describe, paso a paso, a continuación: La extracción de los compuestos se realizó a partir de la muestra liofilizada del fruto y mezclando con metanol. Posteriormente se mezcló energicamente en vortex y se centrifugó a 10000 rpm durante 10 minutos. Seguidamente, se tomó 1 ml de extracto y se añadió 1 ml de reactivo de Folin y 10 ml de carbonato sódico al 20% p/v, completándose el volumen hasta 25 ml con agua destilada. Se esperaron 30 minutos a 40°C para que se desarrollara el color. A continuación, las muestras se analizaron en espectrofotómetro (Thermo Evolution 300) a 765 nm frente a un blanco de metanol (1ml) preparado de la misma forma. Previamente a la medida de las muestras, se elaboró una recta patrón de calibrado con concentraciones conocidas de ácido gálico que oscilaron entre 0 y 1000 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Los resultados se expresaron en mg de compuestos fenólicos por g

de peso seco, referidos al contenido en ácido gálico.

Contenido en ácido ascórbico

La determinación de Vitamina C se realizó según la técnica de titulación volumétrica de óxido reducción en medio ácido a partir de zumo filtrado del fruto. Se utilizó como agente valorante una solución 0.01 M de Iodo, y como indicador una solución de glioxal. Las valoraciones se efectuaron con el titulador automático (Metrohm, Compact Titrosampler).

Dado que la reacción entre el yodo y el ácido ascórbico presenta una estequiometría 1:1, en el punto final de la titulación el número de moles de yodo reducido es equivalente a los moles de ácido ascórbico oxidado. Cada mililitro de solución 0.01 M de Iodo consumido durante la valoración equivale a 1.741 mg de ascórbico ($C_6H_8O_6$). Entre los reactivos y soluciones utilizados se encuentran agua destilada, solución de Iodo 0.01 M, solución de glioxal y solución de ácido sulfúrico.

Se comprobó la linealidad de la técnica volumétrica, mediante la verificación del cumplimiento de la Ley de Beer con el estándar de ácido ascórbico en un rango de concentraciones de 0.08- 1.0 mg/ ml. Se realizaron tres réplicas de cada una y se determinó la recta de regresión lineal, así como los coeficientes r y r^2 . Simultáneamente, se mezclaron 5 ml de zumo filtrado con agua destilada, 2 ml de glioxal y 5 ml de ácido sulfúrico, tras lo cual se procedió a su titulación con Iodo.

Los resultados se expresaron en mg de áscórbico/g peso seco de fruto.

2.2.2. Análisis NIRS

Se utilizaron dos equipos espectrofotométricos NIR: Phazir Rx (Polychromix, TM) portátil para las muestras en fresco y el modelo 6500 (Foss-NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD, EE.UU.) para las muestras liofilizadas (Fotografía 1). Se trata de equipos dispersivos, que registran los espectros mediante un barrido de longitudes de onda, utilizan como fuente de luz una lámpara halógena de filamento de tungsteno. El monocromador está constituido por una red de difracción cóncava que al girar permite enfocar cada longitud de onda en la rendija del instrumento; el sistema permite un registro rápido del espectro (menos de 1 segundo), en el rango de 939,5 a 1796,6nm para el equipo Phazir (con un intervalo espectral de 8 nm) y en el rango de 400 a 2500 nm para el equipo 6500 Foss-NIRSystems (con un intervalo espectral de 2 nm).

El desarrollo de los modelos de predicción de se realizaron utilizando un colectivo constituido por 150 muestras.

Los frutos en fresco se analizaron por cuatuplicado y las muestras liofilizadas en polvo se analizaron por triplicado, ambos como $\log 1/R$, (R =reflectancia), utilizándose para

el producto liofilizado como soporte una cubeta de cuarzo y de aluminio anodizado para evitar la absorción de radiación. Previamente al registro de las muestras se registra un blanco constituido por una placa de cerámica.

La adquisición de datos con ambos equipos NIRS, se controlaron mediante el software *WINISI* (WinISI II 1.5, Infrasoftware Internacional, PA16780, USA), que permite el registro de los espectros así como su visualización, aplicando los pretratamientos espectrales más habituales.

Desarrollo de las ecuaciones NIRS

Las calibraciones se realizaron mediante el software v.1.50 GLOBAL (WinISI II, Infrasoftware International, LLC, Matilda Puerto, PA, EE.UU.). Los cálculos de las ecuaciones de calibración se realizaron con los datos ópticos en bruto ($\log 1/R$), utilizando la primera o la segunda derivada del dato $\log 1/R$. Con el uso de derivadas se corrige el *off-set* debido a diferencias en el tamaño de partícula, así la derivada 1 muestra máximos y mínimos de una función, y la segunda derivada determina los cambios de concavidad y es la que genera más picos en el espectro. El *gap* determina cada cuantos nanómetros se hacen las derivadas. El *Smoot* (suavizador de puntos) coloca puntos al lado de los puntos principales con el fin de suavizar la curva. Por tanto las combinaciones serían: 0, 0, 1, 1; para el orden de las derivadas, el segmento de las derivadas, primer suavizado, y segundo suavizado; (1, 4, 4, 1), (1, 10, 10, 1), (2, 5, 5, 2), (2, 10, 10, 2) (Shenk *et al*, 1992).

El desarrollo de la ecuación NIRS se hace mediante un algoritmo que relaciona la información espectral (óptica) con la información de la composición química (método de referencia) a través de la aplicación de modelos estadísticos. Existen diferentes métodos basados, bien en la selección de un rango de longitud de onda concreto, o bien en la utilización de todo el espectro. Concretamente, el método estadístico de los mínimos cuadrados parciales modificados (MPLS, *Modified Partial Least Squares*), resulta eficaz para evaluar constituyentes del material vegetal. Mediante el PLS se transforma una regresión lineal en un nuevo sistema de ordenadas, con una dimensión menor que el espacio original de las variables independientes. Los factores PLS están determinados por la máxima varianza de las variables independientes (datos espectrales) y por una máxima correlación con la variable dependiente (datos químicos). El modelo actual utiliza sólo los factores primarios y más importantes, el "ruido" es encapsulado por los factores menos importantes. La regresión se realiza en el espacio generado por el nuevo y reducido sistema de coordenadas de los factores ortogonales.

Además de las derivadas, los espectros NIRS obtenidos con este equipo de barrido continuo, fueron normalizados o corregidos con el modelo matemático asignado, incluyendo los siguientes tratamientos: SNV (*Standard Normal Variate*) con el que se

corrigen los problemas ópticos, DETREND, con el que se corrige la tendencia de los datos, MSC (*Multiplicative Signal Corrected*) que corrige la dispersión múltiple, recomendado cuando se identifican varios grupos de muestras (Barnes *et al.*, 1989). Además se utilizó la eliminación de *outliers* que incorpora el programa NIRS 3.01. Muestras con un $t > 2,5$ y un H (H : distancia de Mahalanobis) > 3 fueron consideradas *outliers*.

Validación de las ecuaciones

Para determinar la exactitud y precisión de las ecuaciones obtenidas en la calibración de cada componente se llevó a cabo un procedimiento de validación cruzada. Para ello se utilizaron diferentes estadísticos, como el coeficiente de determinación r^2 (Williams, 1987), y el RPD (*Ratio of Prediction to Deviation*) que es el cociente entre la desviación estándar (SD, *standard deviation*) de la validación de las muestras y el error estándar de la validación (SECV) (Williams y Sobering, 1996). Las expresiones matemáticas de estos estadísticos son las siguientes:

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^{-1}}{\quad} \quad (\text{eq. 1})$$

donde: \hat{y} = valor medido NIR; \bar{y} = media del valor "y" para todas las muestras; y_i = valor de referencia de la muestra.

$$\text{RPD} = \frac{SD \cdot \left[\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right) (N - K - 1)^{-1} \right]^{1/2 - 1}}{\quad} \quad (\text{eq. 2})$$

donde: y_i = valor de referencia de la muestra; \hat{y} = valor medido NIR; N = número de muestras; K = número de longitudes de onda utilizadas en la ecuación, SD = desviación estándar.

2.3. Análisis estadístico

Para el ensayo de parámetros físicos y sensoriales el número de repeticiones utilizadas por tipología de pimienta fue de 10 y para el ensayo de parámetros nutricionales osciló entre 5 y 10.

Para el análisis de los resultados se aplicó estadística descriptiva como media, desviación estándar, error estándar coeficiente de variación para determinar el comportamiento de las distintas variables evaluadas. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ($P < 0.05$) Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS 9.1 (SAS Institute Inc., 2004).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización

3.1.1. Parámetros físicos y sensoriales

En las Tabla 1 y 2 se presentan los valores medios de todos los parámetros físicos que se determinaron

Tal y como se muestra en las tablas 1 y 2, hay una gran variabilidad en los parámetros dependiendo de los tipos de pimiento.

En la Tabla 1 se muestran los valores medios de firmeza, peso de fruto, peso de semilla, longitud, diámetro, grosor y °Brix mientras que en la Tabla 2 se muestran los valores medios de pH, ácido málico, y los parámetros de color como son L, a, b, C y h.

En el caso de la firmeza, se muestra un rango de variación comprendido entre 6,9 y 26,2 N, destacando los de tipo picante (naranja, verde y amarillo), y california amarillo con valores >20 N (Tabla 1).

Con respecto al peso del fruto y semilla, se encontraron diferencias significativas entre tipos de pimiento, con unos rangos de variación comprendidos entre 8,9 y 428 g para el caso del peso de fruto y 0,8 y 19,4 g para el peso de semilla. Como cabe esperar, en peso de fruto destaca el de tipo lamuyo con un valor mayor de 400 g de media y le sigue los de tipo California con un peso medio de fruto mayor de 200 g. El peso de la semilla es importante para el consumidor porque es deseable que tenga la menor cantidad de éstas para facilitar su consumo. Los pimientos de tipo snack fueron los que presentaron un menor peso de semilla (Tabla 1).

Como se esperaba, los dos tipos de pimiento, lamuyo y california fueron los que también presentaron mayor diámetro de fruto y grosor presentando diferencias significativas con el resto de los tipos de pimiento ensayados. El rango de variación de los valores del grosor de fruto estuvo comprendido entre 1,4 y 8 mm y el rango de variación del diámetro estuvo entre 24,4 y 100 mm (Tabla 1).

Al igual que en el caso del diámetro y grosor, hubo una gran variabilidad significativa en la longitud de los frutos, encontrándose el rango de variación comprendido entre 60,5 y 237,9 mm, correspondiendo el valor más alto los pimientos tipo italiano con un valor medio > 200 mm (Tabla 1).

Con respecto al contenido en sólidos solubles, los ° Brix mostraron un intervalo comprendido entre 5 y 11 ° destacando los de tipo snack con valores >10° Brix y los de menor contenido en sólidos solubles lo presentaron los tipos de pimiento: italiano, california y picante en su variedad verde. Estos datos podrían ser de considerable valor en el uso gastronómico dependiendo del sabor que se pretenda conseguir.

En relación a los valores obtenidos para el pH, el intervalo estuvo comprendido

entre 5 y 6,6, los valores más altos los mostraron las variedades de color verde de los tipos de pimiento ensayado tales como picante, california, italiano y padrón todos ellos con valores medios >6 (Tabla 2).

En el caso de los ácidos orgánicos el ácido málico es el ácido predominante en la composición de los frutos de *Capsicum*, seguido del oxálico y cítrico (Dewitt *et al.*, 2000, Conesa *et al.*, 2006).

Los valores del ácido málico estuvieron comprendidos entre 0,1 y 0,4%. Existiendo diferencias significativas entre ellos, siendo los de tipo picante amarillo y naranja, los que más alto contenido en este ácido orgánico presentaron, respecto al resto de tipos de pimiento (Tabla 2).

En cuanto a los parámetros de color C y h, destacar las diferencias significativas que se encontraron entre los distintos tipos de pimiento. Los valores del parámetro C estuvieron comprendidos entre 16,4 y 62,4 siendo los de tipo picante naranja y amarillo los que obtuvieron un valor más alto superando el valor de 60 y los de valor más bajo fueron el California verde y el padrón (Tabla 2).

En el parámetro h, el intervalo estuvo comprendido entre los valores 30,2 y 129,7 destacando los de tipo padrón y california verde significativamente con más de 128 y el de tipo lamuyo rojo los que obtuvieron el valor más bajo (Tabla 2).

3.1.2. Parámetros nutricionales

Los parámetros nutricionales analizados se muestran en la Tabla 3. Con respecto al contenido de carotenoides, el rango de valores estuvo comprendido entre 289,5 y 4.081,5 $\mu\text{g/g}$ peso seco, destacando el tipo picante rojo con un valor medio de 4.081,5 $\mu\text{g/g}$ peso seco presentando diferencias significativas con el resto de tipos de pimiento. Cabe destacar que los tipos de pimiento de color rojo como picante rojo, italiano rojo, california rojo, lamuyo rojo y snack rojo fueron los que presentaron el valor más alto de carotenoides con un contenido >890 $\mu\text{g/g}$ peso seco (Tabla 3).

Los compuestos fenólicos presentaron un rango de variación entre 10,2 y 17,6 mg/g peso seco, mostrando los valores más altos, por encima de 16 mg/g peso seco, los pimientos tipo italiano verde, california verde y padrón. El pimiento tipo italiano rojo presentó el valor más bajo (Tabla 3).

El intervalo de variación para el contenido en ácido ascórbico mostró un intervalo de variación entre 4,4 y 10,9 mg/g peso seco, siendo los tipo italiano verde y lamuyo rojo los que presentaron valores más elevados con contenidos en ácido ascórbico >10 mg/g peso seco (Tabla 3).

Finalmente, en cuanto a las clorofilas, a y b, se observaron diferencias significativas entre los distintos tipos de pimientos para ambas clorofilas. En el caso de la

clorofila a, el intervalo de variación estuvo comprendido entre 23,3 y 1151,3 $\mu\text{g/g}$ peso seco, destacando el padrón como el tipo de pimiento con el contenido más alto de clorofila a seguido de las variedades de color verde de los tipos picante, italiano y california con valores $>700 \mu\text{g/g}$ peso seco, presentando todas ellas diferencias significativas con el resto de pimientos (Tabla 3).

Los valores medios de clorofila b estuvieron comprendidos entre 40,5 y 605,4 $\mu\text{g/g}$ peso seco, siendo los tipos california verde, picante rojo y padrón los que presentaron valores $> 530 \mu\text{g/g}$ peso seco (Tabla 3).

3.2. Análisis NIRS

3.2.1. Espectro NIRS

En la Figura 1 se muestra los espectros de reflectancia NIRS de las muestras de pimiento. La información que se va a usar para predecir los distintos parámetros físicos, sensoriales y nutricionales viene contenida en estas curvas espectrales. Se hace difícil extraer la información relevante sólo identificando los numerosos picos solapados de la Figura.

El paso fundamental en la técnica espectroscópica es extraer datos cuantitativos de los espectros. En este estudio, tal y como se ha descrito en la metodología se utiliza el algoritmo MPLS (Modified Partial Least Squares), para alcanzar este propósito.

La Figura 2 muestra la segunda derivada (2, 5, 5, 2) del espectro promedio ($\log 1/R$) de las muestras de pimiento analizadas. Las principales bandas de absorción mostradas por el espectro exhibieron máximos de absorción (λ_{max}) a 470, 546 nm y 670 nm. Estas bandas localizadas entre 400 a 700 nm están relacionadas con la absorción de la luz por pigmentos que dominan el espectro de reflectancia en estas longitudes de onda, como consecuencia de transiciones electrónicas que tienen lugar en la parte de la molécula fotoactiva (cromóforo).

Los carotenoides encontrados en el género *Capsicum* (Wall *et al.*, 2001) podrían estar influyendo en la banda de absorción a $\lambda_{\text{max}} = 470$ nm. Entre ellos el β -caroteno, β -criptoxantina, luteína, zeaxantina, capsantina y capsorubina,

A longitudes de onda más largas, complejos pigmento-proteína pueden ser las moléculas responsables de algunos de los rasgos que caracterizan a la región VIS. Por ejemplo, proteínas de unión a clorofila a/b, las cuales se ha demostrado que absorben en un rango de 498 a 568 nm (Font *et al.*, 2007).

En la región correspondiente al rojo en el espectro, la banda a 670 nm, fue asignada a la clorofila (Tkachuk y Kuzina, 1982).

La región NIR del espectro mostró bandas de absorción características, especialmente los picos a 1210 y 1436 nm y son característicos de azúcares (Osborne *et al.*, 1993); a 1938 nm se observó otro pico que corresponde a la absorción de los grupos O-H del agua; a 1512 nm región donde tiene lugar la absorción del primer sobretono por estiramiento del enlace N-H de las proteínas; a 1726 y 2348 nm aparecen otros dos picos relacionados con las bandas de combinación de lípidos (Murray and Williams, 1987); y por último aparecen otros picos a 1450 y 2270 nm relacionados con deformación de los grupos O-H + C-O de la celulosa (Osborne *et al.*, 1993).

3.2.2. Parámetros físicos y sensoriales

En la Tabla 4 se presentan los estadísticos de calibración y de la validación cruzada para los diferentes parámetros físicos estudiados, como son la media, rango, desviación estándar (SD), coeficiente de determinación para la calibración (r^2 CAL), el error estándar de calibración (SEC), el coeficiente de determinación para la validación cruzada (r^2 VAL), el error estándar de la validación cruzada (SECV) y el RPD que es cociente entre la desviación estándar (SD) y el error estándar de la validación cruzada (SECV).

El coeficiente de determinación para la validación cruzada oscilaron entre 0,41 para el caso de la firmeza del fruto y 0,81 para el parámetro a del color de fruto.

En cuanto a los valores de RPD, el intervalo obtenido estuvo comprendido entre 1,3 correspondiente a la firmeza y 2,3 para el parámetro a del color, al igual que sucedió con el coeficiente de determinación para la validación cruzada (r^2 VAL).

3.2.3. Parámetros nutricionales

En la Tabla 5 se muestran los estadísticos de calibración y de la validación cruzada para los diferentes parámetros nutricionales,

El coeficiente de determinación para la validación cruzada osciló de 0,70 para el caso de los compuestos fenólicos, 0,71 para el contenido en ácido ascórbico y 0,87 para el contenido de carotenoides.

Los valores de RPD oscilaron entre 1,8 correspondiente a los compuestos fenólicos, 1,9 para el contenido en ácido ascórbico y 2,7 para el contenido en carotenoides.

4. DISCUSIÓN

4.1. Caracterización

4.1.1. Parámetros físicos y sensoriales

Los caracteres relativos a la calidad externa del fruto en el género *Capsicum*, como son el color, la forma y el tamaño son los más importantes, aunque estos parámetros son

muy variables y abarcan una amplia variedad de tamaños, formas y colores.

La apariencia externa de los frutos y su uniformidad son uno de los criterios más importantes que aplican las compañías de semillas para seleccionar sus nuevas variedades.

La investigación en la mejora de la calidad se ha desplazado en los últimos años hacia los factores de calidad interna, en detrimento de los relativos a la calidad externa. Es decir, estos parámetros se utilizan como criterio fundamental en la selección de genotipos, pero no proliferan los estudios científicos relativos a los mismos (Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006).

El concepto de calidad externa es muy variable pues depende de los gustos del mercado al que va dirigida la producción (Vidal, 2003).

Por esta razón en este trabajo, se ha querido analizar un amplio rango de variedades de pimiento que comprenda todas las variedades comerciales que hay en el mercado actualmente.

Los resultados de firmeza obtenidos para el pimiento tipo california en este trabajo (13,9-24,0 N) están dentro del rango previamente publicado con 1,42-38,74 N (Penchaiya *et al.*, 2009). Lo mismo ocurrió con el diámetro (82-110 mm) y longitud de fruto para el pimiento tipo california (88,4-104,3 mm) que se encuentran dentro del rango anteriormente publicado con 38,28-89,99 mm para el diámetro y 41,52-113,51 mm de longitud (Penchaiya *et al.*, 2009).

Con respecto a los sólidos solubles los resultados obtenidos (4,3-9 °Brix) para el tipo california están dentro de los resultados publicados con valores comprendidos entre 3,6 y 8,9 °Brix (Penchaiya *et al.*, 2009) y son similares tanto para el tipo california verde y rojo (5,1 y 8,4, respectivamente) a los resultados que publicaron Rubio *et al.* (2009) (5,3 y 9,6 para los tipo verde y rojo, respectivamente).

En cuanto a los datos obtenidos para pH en nuestro estudio para el tipo california verde y rojo (6,6 y 5,5) son superiores a los publicados anteriormente (5,8 y 5,2) (Rubio *et al.*, 2009).

Para el grosor, los valores obtenidos para pimiento tipo california (6,1-8 mm) son similares a los obtenidos anteriormente con 6,0 mm (López *et al.*, 2013) y 8,8 mm (Rubio *et al.*, 2009). En cuanto al pimiento tipo lamuyo (6,2 mm) nuestros datos son superiores a los publicados por López *et al.* (2013) (5,4 mm).

Para el parámetro de color L, los resultados obtenidos en un estudio anterior para pimientos tipo california llevado a cabo por López *et al.* (2013) (39,1) se encuentran dentro del rango obtenido en nuestro estudio (34,1-52,3) y para el caso del tipo lamuyo el resultado obtenido 34,2 fue inferior al obtenido por López para este tipo de pimiento (39,0).

Con respecto a otros parámetros cromáticos como, a y b, los resultados obtenidos

para el tipo california verde (-10,3 y 12,7, respectivamente) son inferiores a los obtenidos por un estudio reciente (-13,1 y 16,3 respectivamente) (López *et al.*, 2013).

4.1.2. Parámetros nutricionales

El valor nutritivo de un alimento es el grado de utilidad que posee para satisfacer los requerimientos de diversas sustancias necesarias para el buen funcionamiento del organismo y la prevención de enfermedades, se incluyen tanto los macronutrientes (hidratos de carbono, lípidos y proteínas) como otros compuestos presentes a menor concentración como vitaminas, carotenoides y polifenoles (Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006).

El contenido en carotenoides ha sido el factor de calidad en pimiento más relevante, centrándose los estudios en el contenido total por su actividad antioxidante, anticancerígena y en el contenido en los precursores de la vitamina A (β -caroteno y β -criptoxantina).

Los resultados obtenidos para el contenido en carotenoides totales (289,5-4.081,5 $\mu\text{g/g}$ peso seco) son similares a los encontrados en estudios realizados previamente sobre distintos tipos de variedades de *C. annuum* (116,9-4.575,6 $\mu\text{g/g}$ peso seco) (Burns *et al.*, 2003, Hernández *et al.*, 2012, Ignat *et al.*, 2013, Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2006). Sin embargo, también se han descrito contenidos de carotenoides totales más altos que superaron 13000 $\mu\text{g/g}$ peso seco (Hanson *et al.*, 2004, Hornero *et al.*, 2000)

Los contenidos de carotenoides en función del color de los pimientos estudiados fueron: rojo (894,2-4.081,5 $\mu\text{g/g}$ peso seco) y naranja (614,3-1.158 $\mu\text{g/g}$ peso seco), los cuales estuvieron dentro del rango obtenido previamente para pimiento rojo (872-6.781 $\mu\text{g/g}$ peso seco) y naranja (418,8-1.012,5 $\mu\text{g/g}$ peso seco), sin embargo en el caso de los pimientos amarillos, nuestros resultados (375,3-588,5 $\mu\text{g/g}$ peso seco) resultaron superiores a los encontrados por Wall *et al.* (2001) (25 $\mu\text{g/g}$ peso seco).

Con respecto al contenido en compuestos fenólicos, los pimientos mostraron un intervalo de variación (10,2-17,6 mg/g peso seco) superiores a los publicados previamente (3,35-13,1 mg/g peso seco) (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2006). Sin embargo, fueron inferiores al rango obtenido en otro estudio previo con valores comprendidos entre 17,8 y 36,2 mg/g peso seco (Howard *et al.*, 2000).

Los frutos maduros de *Capsicum* están considerados uno de los productos vegetales más ricos en vitamina C (Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006).

El rango obtenido para el contenido de ácido ascórbico (4,4-10,9 mg/g peso seco) está dentro de los descritos por Bosland y Votava (2000), Nuez *et al.* (2003) y Howard *et al.* (2000), entre 3,1 y 18,8 mg/g peso seco. Sin embargo, nuestro rango fue superior al publicado por Rodríguez-Burruezo *et al.* (2006) (3,6-6,9 mg/g peso seco).

Para el caso de la clorofila a y b, los pimientos verdes alcanzaron valores de clorofila a ($>700 \mu\text{g/g}$ peso seco) superiores a los que se obtuvieron anteriormente (Burns *et al.*, 2003) sin embargo para la clorofila b los contenidos fueron similares a los obtenidos en estudios previos. Recientemente se han publicado valores para ambas clorofilas superiores ($3.000,3-26.004,4 \mu\text{g/g}$ peso seco en el caso de la clorofila a y $6.616,3-44.673,8 \mu\text{g/g}$ en el caso de la clorofila b) (Costache *et al.*, 2012) a los obtenidos en este estudio ($23,3-1.151,3 \mu\text{g/g}$ peso seco para la clorofila a y $40,5-605,4 \mu\text{g/g}$ peso seco para la clorofila b).

4.2. Análisis NIRS

En relación con la aplicación de la tecnología NIRS para la determinación de parámetros de calidad en pimiento, la literatura científica recoge dos trabajos de investigación, uno realizado por Hernández-Hierro *et al.* (2008) que determinan los contenidos en aflatoxina y ocratoxina de pimiento paprika y otro llevado a cabo por Penchaiya *et al.*, (2009) que determina la firmeza y el contenido en sólidos solubles de varias variedades de pimiento tipo californiana. A parte del estudio de Penchaiya *et al.*, (2009) citado anteriormente para pimiento, se discutirán los resultados obtenidos en este trabajo con los descritos en otras solanáceas, ya que hasta la fecha es la primera vez que se realizan calibraciones NIRS en pimiento para parámetros físicos y sensoriales, como peso de fruto, diámetro, grosor, peso de la semilla, pH, ácidos orgánicos, parámetros del color (L, a, b, C y ángulo hue) y para parámetros nutricionales.

4.2.1. Parámetros físicos y sensoriales

En la Figura 3, se muestra la relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros físicos y sensoriales (firmeza, peso de fruto, diámetro, grosor, peso de la semilla, pH, ácidos orgánicos, sólidos solubles y parámetros del color (L, a, b, C y ángulo hue)).

El coeficiente de determinación de la validación nos informa sobre la calidad del modelo de calibración, los valores obtenidos oscilan entre 0,41 para la firmeza y 0,81 para el parámetro a del color. Según Williams y Norris (2001), dependiendo del valor de R^2 VAL los modelos pueden ser: modelos con una baja correlación ($0,26 < R^2 \text{ VAL} < 0,49$), en nuestro caso las calibraciones obtenidas para la firmeza del fruto; modelos que pueden utilizarse para una discriminación entre valores bajos y altos de las muestras ($0,50 < R^2 \text{ VAL} < 0,64$), en nuestro caso el diámetro del fruto, peso de la semilla, ácido málico y los parámetros del color L y b; modelos que pueden utilizarse para unas predicciones aproximadas de las muestras ($0,66 < R^2 \text{ VAL} < 0,81$), en nuestro estudio las calibraciones obtenidas para peso del fruto, grosor, °Brix, pH y los parámetros del color a, C y ángulo

hue (h).

En función del parámetro RPD, que clasifica los modelos en: modelos predictivos mejorables ($RPD < 1,5$), que se corresponde con los resultados obtenidos para la firmeza del fruto y modelos predictivos adecuados ($1,5 < RPD < 2$), lo obtenido para peso de fruto, diámetro, grosor, peso de semilla, °Brix, pH, ácido málico y los parámetros de color L, a, b, C y h.

Comparando nuestros resultados con los obtenidos para pimiento por Penchaiya *et al.* (2009) para la firmeza y el contenido en sólidos solubles, encontramos que sus coeficientes R^2 VAL fueron superiores en ambos casos 0,61 para la firmeza y 0,92 para el contenido en sólidos solubles. Con respecto a los sólidos solubles, si comparamos con tomate, también fue mayor el resultado de Flores *et al.* (2009) con coeficiente de R^2 VAL 0,77 y el resultado de Clément *et al.* (2008) con un R^2 VAL de 0,75.

Los valores de RPD para el caso de la firmeza (1,3) y contenido en sólidos solubles (1,7) fueron inferiores a los obtenidos en un estudio previo en pimiento (Penchaiya *et al.*, 2009) con valores de 1,7 para la firmeza y 2,08 para el contenido en sólidos solubles

Comparando nuestros resultados con los obtenidos en una solanácea como es el tomate, los valores de RPD para el contenido de sólidos solubles (1,7) fue inferior al obtenido por Flores *et al.* (2009) con valores superiores a 2,0. Los coeficientes de determinación en la validación cruzada (R^2 VAL) para los parámetros de color a, b y L en nuestro estudio (Tabla 4) fueron inferiores que los obtenidos en tomate por Clément *et al.*, (2008) (0,98; 0,92 y 0,92 respectivamente).

4.2.2. Parámetros nutricionales

En la Figura 4, se muestra la relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano, (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros nutricionales (contenido en carotenoides, fenólicos y ácido ascórbico).

Los coeficientes de determinación de la validación para los componentes nutricionales oscilaron entre 0,70 para el contenido de fenólicos y 0,87 para el contenido de carotenoides. Según Williams y Norris (2001), modelos que pueden utilizarse para unas predicciones aproximadas de las muestras ($0,66 < R^2$ VAL $< 0,81$), en nuestro estudio las calibraciones obtenidas para el contenido en fenólicos y de ácido ascórbico; y modelos con buenas correlaciones ($0,83 < R^2$ VAL $< 0,90$), estos valores de R^2 se han obtenido para el contenido en carotenoides.

En función del parámetro RPD, que clasifica los modelos en: modelos predictivos adecuados ($1,5 < RPD < 2$), se corresponde con lo obtenido para los compuestos fenólicos y el ácido ascórbico y modelos predictivos muy buenos ($2,5 < RPD < 3$) se corresponde para el contenido en carotenoides.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos que constituyen este trabajo, permiten establecer las siguientes conclusiones:

Este trabajo fin de master ha mostrado la existencia de una amplia variabilidad para componentes de calidad físico, sensorial y nutricional en variedades de pimiento de diferentes tipologías (pimiento snack amarillo, naranja, rojo, pimiento picante rojo, naranja, amarillo, verde, pimiento lamuyo rojo, pimiento california rojo, verde, amarillo; pimiento padrón, pimiento italiano verde y rojo) cultivadas en Almería.

En este sentido, los pimientos tipo snack fueron los que presentaron el contenido en sólidos solubles más alto y peso de semilla más bajo (dato a tener en cuenta para su uso gastronómico); los pimientos de color verde, independientemente de su tipología fueron los que presentaron mayores valores de pH; los pimientos picantes presentaron un alto contenido en ácido málico y los pimientos tipo lamuyo y california destacaron como cabía esperar en peso, longitud, diámetro y grosor de fruto.

En cuanto a la calidad nutricional, los pimientos de color rojo presentaron un alto contenido en carotenoides totales, mientras que los pimientos de color verde destacaron por su alto contenido en compuestos fenólicos totales y clorofila a. Respecto al contenido en ácido ascórbico fueron las tipologías italiano verde y lamuyo rojo los que presentaron los contenidos más altos.

Los modelos de predicción NIRS desarrollados para la determinación no destructiva de parámetros de calidad físico-sensorial (peso de fruto, diámetro, grosor, peso de semilla, °Brix, pH, ácido málico y los parámetros de color L, a, b, C y h) presentan una adecuada capacidad predictiva lo que posibilita, sobre piezas de fruta individuales, la determinación de los niveles mínimos de los principales atributos de calidad que garantizan su aceptación por los consumidores.

Las ecuaciones NIRS desarrolladas para la caracterización textural de dicho producto resultaron modelos mejorables, lo que confirma además que el espectro NIRS de un producto no sólo contiene información química, sino también física y sensorial. La consideración conjunta de un amplio grupo de tipologías de pimiento distintas como integrantes del colectivo de calibración, ha podido mermar, en cierta medida, el potencial de predicción de la ecuación NIRS obtenida para la predicción de la textura. En este sentido, la obtención de ecuaciones de predicción NIRS calibradas para tipologías concretas constituye el siguiente paso en la mejora de la calidad de predicción de esta técnica analítica.

Los modelos de predicción NIRS desarrollados para la determinación de los principales parámetros responsables de la calidad nutricional en pimiento presentaron una capacidad predictiva adecuada (contenido en fenólicos totales y ácido ascórbico) y modelos muy buenos (contenido en carotenoides totales) para su uso como herramienta de caracterización de productos hortofrutícolas de alto valor añadido.

Teniendo en cuenta todas estas ventajas la tecnología NIRS puede ser aplicada al análisis de un gran número de muestras para la selección de calidad en programas de mejora genética y para la implementación en la caracterización rutinaria de la calidad en el sector hortofrutícola. La ampliación del set de calibración en estudios posteriores con un mayor número de muestras (procedente de distintas variedades, épocas diferentes de cultivo, etc) permitirán dar más robustez a los modelos predictivos desarrollados.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Proyecto AVA titulado “Desarrollo sostenible de la horticultura protegida” (PP.AVA.AVA201301.8), fondos FEDER y fondos FSE (Programa Operativo FSE de Andalucía 2007-2013_“Andalucía se mueve con Europa”).

La autora agradece al Programa CEiA3 por la concesión de la beca para la realización del presente trabajo fin de Master.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, J. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207-225.
- Barnes, R.J., Dhanoa, M.S., Lister, S.J. 1989. Standard Normal Variate Transformation and De-Trending of Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra. *Appl. Spectrosc.* 43(5) pp.772-777.
- Bosland, P. W., Votava, E. J. 2000. Peppers: vegetable and spice capsicums. CABI, Nueva Cork.
- Burns, J., Frasser, P.D., Bramley, P.M. 2003. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62: 939–947.
- Clément, A., Dorais, M., Vernon, M. 2008. Multivariate approach to the measurement of tomato maturity and gustatory attributes and their rapid assessment by Vis–NIR Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 56: 1538-1544.
- Conesa, M.A., Artés-Hernández, F., López-Rubira, V., Artés, F. 2006. Ácidos orgánicos y azúcares en pimiento cultivado bajo distintos sistemas y conservado en atmósfera modificada. Simposio Poscosecha 2006, Orihuela pp. 129-136. <http://hdl.handle.net/10317/498>.

- Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 2013. <http://www.faeca.es/index.php/archivo/documentacion/126-frutas-y-hortalizas/1632-avance-de-la-campana-horticola-de-almeria-2012-2013-fuente-capma.html>.
- Costache, M.A., Campeanu, G., Neata, G. 2012. Studies concerning the extraction of chlorophyll and total carotenoids from vegetables. *Romanian Biotechnological Letters* 17, No.5.
- DeWitt, D., Stock, M. T., Hunter, K. 2000. Los poderes curativos de los chiles: remedios y recetas para mejorar vida y salud. Editorial Diana, México.
- Espin de Gea, J. C., Tomás-Barberán, F. 2006. Polifenoles y salud. *Investigación y Ciencia* 356: 34-36.
- Flores, K. 2009. Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba (Ed.), 182 pp.
- Flores, K., Sánchez, M.T., Pérez-Marín, D., Guerrero, J.E. 2009. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. *Journal of Food Engineering* 91: 311-318.
- Font, R., Vélez, D., Del Río-Celestino, M., De Haro-Bailón, A., Montoro, R. 2007. Fast, clean, low-cost screening of cadmium and lead in the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lmk. by visible spectroscopy and partial least squares regression. *Food Chemistry* 105: 667-674.
- Folin, C., Ciocalteu, V. 1927. Tyrosine and tryptophan determination in protein. *J. Biol. Chem.*, 73: 627-650.
- Garrido, A., Guerrero, J.E., Gómez-Cabrera, A. 1993. Posibilidades y limitaciones de la aplicación de la técnica NIRS en la evaluación nutricional de alimentos para el ganado. In *Nuevas Fuentes de Alimentos para la Producción Animal IV*. Gómez-Cabrera, A., De-Pedro-Sanz, E.J. (Eds.). Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España. pp. 243-255.
- Garrido, A. 1997. Current and future applications of NIRS technology. *Options Méditerranéennes* 26: 87-92.
- Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E. B., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., Willet, W. C. 1995. Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 87: 1767-1776.
- Hanson, P. M., Yang-Ray, Y., Lin, S., Tsou, S.C.S., Lee, T.C., Wu, J., Shieh, J., Gniffke, P., Ledesma, D. 2004. Variation for antioxidant activity and antioxidants in a subset of AVRDC- the World Vegetable Center Capsicum core collection. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. 2(3): 153-166.
- Hernández, M., Ortiz, A., Hernández, M.D., Chamorro, Dorantes, L., Necochea, H. 2012. Antioxidant, antinociceptive, and antiInflammatory effects of Carotenoids extracted from dried pepper (*Capsicum annum* L.) *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. Volume 2012, Article ID 524019.
- Hertog, M. G. L., Holleman, P. C. H., Katan, M. B. 1992. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* 40: 2397-2383.

- Hornero, D., Gómez Ladrón, R., Mínguez, M.I. 2000. Carotenoid Biosynthesis Changes in Five Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivars during Ripening. Cultivar Selection for Breeding. J. Agric. Food Chem. 48: 3857-3864.
- Howard, L.R., Talcott, S.T., Brenes, C.H., Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity". Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48 (5): 1713-1720.
- Huang, H., Yu, H., Xu, H., Ying, Y. 2008. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. J. Food Eng. 87, 303-313.
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Feföldi, J. Bernstein, N., Steiner, B., Egozi, H., Hoffman, A. 2013. Nonlinear methods for estimation of maturity stage, total chlorophyll, and carotenoid content in intact bell peppers. Biosystems engineering 114: 414-425.
- Kaul, T. N., Middleton, Jr. E., Ogra, P.L. 1985. Antiviral effect of flavonoids on human viruses. J. Med. Virol. 2(3/4): 235-238.
- Klipstein-Grobusch, K., Launer, L. J., Geleijnse, J. M., Boeing, H., Hofman, A., Wittemen, J. C. M. 2000. Serum carotenoids and atherosclerosis: The Rotterdam Study. Atherosclerosis. 148, 49-56.
- Lee, Y., Howard, L. R., Villalón, B.1995. Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. J. Food. Sci. 60(3): 473-476.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. Methods Enzymol 148: 350–382.
- López, A., Fenoll, J. Hellín, P, Flores, P. 2013. Physical characteristics and mineral composition of two pepper cultivars under organic, conventional and soilless cultivation. Scientia Horticulturae 150: 259-266.
- Murray, I. y Williams, D. 1987. Chemical principals of Near-Infrared Technology. *Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. American Association of Cereal Chemists. Inc. St. Paul, Minnesota. USA.
- Nicolai, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., Lammertyn, J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biol. Technol. 46, 99-118.
- Nuez, F., Gil-Ortega, R., Costa, J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundiprensa, Madrid.
- Osborne, B.G., Fearn, T. y Hindle, P.H. 1993. Introduction. En B.G. Osborne, T. Fearn, y P.H. Hindle Eds., *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis* pp.1-12. London, UK: Longman Scientific and Technical.
- Penchaiya, P. Bobelyn, E., Verlinden, B.E. Nicolai, B.M., Saeys, W. 2009. Non-destructive measurement of firmness and soluble solids content in bell pepper using NIR spectroscopy. Journal of Food Engineering 94: 267-273.
- Rodríguez-Burruezo, A. y Nuez, F. 2006. Mejora de la calidad en el pimiento. En: Mejora genética de la calidad de plantas, Llacer, G., Díez, M.J., Carrillo, J.M., Badenes, M.L. (eds.). Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. pp. 361-381.
- Rodríguez-Burruezo, A., Raigón, M.D., Nuez, F. 2006. Variación de compuestos nutricionales en una colección de tipos y varietales de pimiento (*Capsicum annuum*). III Congreso de Mejora genética de plantas 2006, Valencia pp. 91-92. Actas de horticultura SECH 45.

- Rubio, J.S., García-Sánchez, F., Rubio, F. Martínez, V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae* 119: 79–87.
- Schulz, H., Quilitzsch, H., Drews, H., Krüger, H. 2000. Estimation of minor components in caraway, fennel and carrots by NIRs comparison of results from dispersive and Fourier transform instruments. *Int. Agrophys.* 14: 249-253.
- Shenk, J.S., Workman, J.J. and Westerhaus, M.O. 1992. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. En: *Handbook of Near Infrared Analysis*, Burns, P.A. and Ciurczak, E.W. (eds). Marcel Dekker, New York, USA, pp.383-427.
- Slaughter, D.C., Abbott, J.A. 2004. Analysis of fruits and vegetables. In *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. Roberts C.A., Workman J., Reeves III, J.B. (Eds.). ASA, CSSA y SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp. 377-398.
- Tkachuk, R., Kuzina, F.D. (1982). Chlorophyll analysis of whole rape-seed kernels by near infrared reflectance. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 875-884.
- Vidal, C. 2003. Mejora genética en pimiento (*Capsicum annuum* L.) para la obtención de híbridos F1. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Wall, M.M., Waddell, C.A., Bosland P.W. 2001. Variation in B-carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*. *HortScience* 36(4): 746-749.
- Williams P.C. & Norris K. (Eds.). 1987. *Near Infrared Technology in the agricultural and food industries*. St. Paul, Minnesota: American Association of cereal chemists.
- Williams, P., Norris, K. 2001. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*, St. Paul, MN: AACC.
- Williams, P.C., Sobering, D.C. (1996). How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. In: *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*, Davies, A.M.C., Williams, P.C. (Eds.). NIR Publications, Chichester, pp. 185–188.
- Zandomenighi, M., Festa, C., Carbonaro, L., Galleschi, L., Lenzi, A., Calducci, L. 2000. Front-surface absorbance spectra of wheat flour: determination of carotenoids. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2216-2221.

Tabla 1. Media y error estándar de los parámetros físicos: firmeza, peso del fruto, peso de la semilla, longitud, diámetro, grosor y °Brix que se determinaron para cada tipo de pimiento.

Tipos de pimiento	Firmeza	Peso Fruto	Peso semilla	Longitud	Diámetro	Grosor	°Brix
	N	g	g	mm	mm	Mm	
Picante naranja	26,2±4,4 a	8,9±0,6 g	2,8±0,1 fg	107,8±6,5 e	24,5±1,4 g	2,1±0,1 Gh	7,0±0,8 de
Picante amarillo	20,6±2,4 ab	11,3±1,6 g	3,3±0,1 def	125,0±4,9 d	28,2±0,5 fg	2,0±0,1 H	8,4±0,5 cd
Picante verde	23,5±5,5 ab	20,5±1,7 fg	3,0±0,1 efg	142,7±3,2 c	31,1±0,6 ef	2,5±0,1 Fg	5,9±0,5 ef
Picante rojo	16,2±2,1 abcd	21,6±2,1 efg	2,7±0,1 fg	152,3±5,2 c	31,3±1,0 ef	2,7±0,1 F	9,1±0,2 bc
Padrón	6,9±1,0 d	13,6±1,3 g	3,9±0,2 de	75,4±4,6 ghi	24,4±1,0 g	1,4±0,1 I	7,5±0,6 cd
Snack naranja	12,3±1,1 bcd	36,9±2,1 e	2,6±0,1 fg	86,8±1,4 fgh	38,4±1,2 d	3,7±0,1 De	10,5±0,1 ab
Snack amarillo	16,2±1,7 abcd	29,5±1,3 ef	2,7±0,2 fg	72,9±3,5 hi	35,0±1,0 de	4,0±0,1 D	10,1±0,2 ab
Snack rojo grande	11,9±1,4 bcd	35,2±2,0 ef	3,2±0,2 efg	86,3±2,5 fgh	36,4±1,2 d	4,5±0,2 C	11,3±0,2 a
Snack rojo pequeño	16,3±1,4 abcd	12,5±1,4 g	0,8±0,4 g	60,5±3,1 i	23,9±0,7 g	3,3±0,1 E	11,0±0,3 a
California amarillo	20,8±1,6 ab	303,5±17,8 b	7,3±0,4 a	96,4±2,6 ef	99,9±3,2 a	8,0±0,3 A	8,4±0,3 cd
California verde	18,5±2,3 abcd	221,0±17,8 c	4,9±0,8 c	91,3±2,0 efg	88,9±3,6 b	6,1±0,2 B	5,1±0,4 f
California rojo	19,5±1,1 abc	289,5±19,0 b	6,4±1,4 b	102,5±0,9 ef	100,0±5,2 a	6,6±0,4 B	8,4±0,3 cd
Lamuyo rojo	12,5±2,7 bcd	428,4±17,5 a	19,4±13,1 b	177,1±9,2 b	97,0±1,9 a	6,2±0,0 B	7,3±0,1 de
Italiano verde	8,6±0,1 cd	140,7±24,1 d	4,2±0,4 cd	237,9±13,4 a	49,8±4,5 c	3,9±0,4 D	5,0±0,2 f

Nota: Diferentes letras dentro de cada columna indica diferencias significativas ($p < 0,005$) según el Test Duncan

Tabla 2. Media y error estándar de los parámetros físicos: pH, ácido málico, parámetros del color, a, b, C, angulo hue (h) y L que se determinaron para cada tipo de pimiento

Tipos de pimiento	pH	Málico %	h	b	C	a	L
Picante naranja	5,2±0,1 def	0,3±0,1 ab	66,5±1,0 e	56,8±1,0 b	62,0±1,0 a	24,6±1,1 d	53,7±0,7 bc
Picante amarillo	5,0±0,1 f	0,4±0,0 a	77,6±1,3 d	60,8±1,0 a	62,4±0,8 a	13,3±1,3 e	58,0±0,9 a
Picante verde	6,0±0,2 b	0,1±0,0 ghi	126,5±0,6 ab	19,2±0,5 fg	23,9±0,5 e	-14,1±0,3 h	34,8±0,5 ef
Picante rojo	5,0±0,1 ef	0,3±0,0 bcde	31,5±0,6 hi	25,1±0,7 e	48,0±0,9 c	40,8±0,7 ab	35,1±0,8 ef
Padrón	6,6±0,2 a	0,1±0,0 ghi	129,2±0,6 a	15,5±1,0 hi	19,9±1,1 f	-12,5±0,6 gh	34,5±0,6 ef
Snack naranja	5,4±0,0 cdef	0,3±0,0 bcd	58,3±0,4 f	45,9±0,7 c	53,9±0,8 b	28,2±0,4 c	51,2±0,7 c
Snack amarillo	5,5±0,0 cde	0,2±0,0 cdef	74,6±0,7 d	53,5±1,3 b	55,5±1,3 b	14,6±0,7 e	55,4±0,5 ab
Snack rojo grande	5,5±0,0 cd	0,3±0,0 bc	34,3±1,6 gh	26,8±1,0 e	48,0±1,1 c	39,4±1,4 b	40,6±0,9 d
Snack rojo pequeño	5,4±0,0 cdef	0,3±0,0 abc	35,0±0,6 g	30,7±0,6 d	53,4±0,7 b	43,7±0,6 a	42,3±0,6 d
California amarillo	5,5±0,0 cd	0,2±0,0 defg	85,6±0,3 c	45,0±2,1 c	45,2±2,1 c	3,5±0,3 f	52,3±1,1 c
California verde	6,2±0,0 b	0,1±0,0 i	129,7±1,5 a	12,7±1,8 i	16,4±2,0 f	-10,3±1,0 g	34,1±0,8 f
California rojo	5,5±0,1 cde	0,2±0,0 efg	32,3±0,3 ghi	18,2±0,6 fgh	34,0±0,8 d	28,7±0,6 c	35,6±0,5 ef
Lamuyo rojo	5,8±0,1 bc	0,2±0,0 fgh	30,2±0,9 i	15,7±1,0 ghi	31,1±1,3 d	26,8±1,0 cd	34,2±0,8 f
Italiano verde	6,1±0,1 b	0,1±0,0 hi	125,3±1,0 b	20,0±1,6 f	24,4±1,6 e	-14,0±0,6 h	37,2±0,8 e

Nota: Diferentes letras dentro de cada columna indica diferencias significativas (p<0,005) según el Test Duncan

Tabla 3. Media y error estándar de los parámetros nutricionales: compuestos fenólicos, clorofila a, clorofila b, carotenos y ácido ascórbico.

Tipos de pimiento	Fenol mg/g peso seco	Clorofila a µg/g peso seco	Clorofila b µg/g peso seco	Carotenos µg/g peso seco	Ácido Ascórbico mg/g peso seco
Snack amarillo	13,1±0,4 c	61,8±10,1 c	94,7±13,9 bc	588,5±51,7 de	7,5±0,3 cd
Snack naranja	11,8±0,5 cd	64,0±23,2 c	94,9±35,4 bc	614,3±29,1 d	7,1±0,4 d
Snack rojo	12,3±0,3 cd	115,3±44,7 c	196,6±78,9 abc	894,2±40,6 c	7,3±0,2 d
California amarillo	12,3±0,2 cd	58,2±10,2 c	99,3±20,2 bc	375,3±11,5 de	8,6±0,3 bcd
California rojo	13,8±0,3 bc	23,3±4,5 c	40,5±6,4 c	970,8±89,1 c	8,7±0,4 bcd
California verde	16,3±0,6 a	731,1±144,4 b	605,4±229,6 a	289,5±27,9 e	9,6±0,4 ab
Lamuyo rojo	15,6±0,8 ab	183,0±50,0 c	179,4±64,1 abc	913,7±34,1 c	10,7±0,5 a
Italiano verde	17,6±0,6 a	845,0±31,2 b	502,1±49,6 ab	333,6±7,7 de	10,9±0,8 a
Padrón	16,1±0,5 a	1151,3±52,1 a	539,3±6,3 a	496,5±11,3 de	8,3±0,6 bcd
Picante naranja	15,5±0,3 ab	47,6±4,3 c	50,7±7,6 c	1158,2±25,7 c	8,7±0,4 bcd
Picante rojo	13,1±0,3 c	97,1±7,4 c	539,5±402,5 a	4081,5±173,6 a	7,4±0,7 cd
Picante verde	12,9±0,2 c	898,4±34,3 b	419,3±19,1 abc	389,6±16,2 de	4,4±0,5 e
Italiano rojo	10,2±0,1 d	149,9±47,3 c	169,8±76,8 abc	1790,2±198,6 b	9,4±0,2 abc

Nota:Diferentes letras dentro de cada columna indica diferencias significativas (p<0,005) según el Test Duncan

Tabla 4. Calibración y estadísticos de la validación cruzada para los parámetros físicos.

Parámetro	N	Media	Rango	SD	R ²	SEC	R ² VAL	SECV	RPD	Tratamiento
Firmeza	91	16,768	4,23-45,02	8,082	0,487	5,196	0,413	6,195	1,3	2552
Peso Fruto	64	20,164	0,20-43,80	10,758	0,835	4,365	0,651	6,531	1,6	1441
Diámetro	68	30,238	19,79-49,04	6,081	0,668	3,505	0,619	3,949	1,5	1441
Grosor	89	2,883	1,08-6,16	1,032	0,799	0,463	0,774	0,566	1,8	1441
Peso semilla	78	3,121	0,00-8,00	1,502	0,645	0,895	0,590	0,981	1,5	1441
°Brix	77	9,122	4,28-12,50	2,067	0,792	0,943	0,670	1,182	1,7	1441
pH	75	5,567	4,72-6,85	0,474	0,807	0,208	0,725	0,248	1,9	1441
Málico	77	0,253	0,09-0,47	0,098	0,566	0,064	0,516	0,068	1,4	1441
Tartárico	87	0,274	0,10-0,52	0,107	0,618	0,066	0,517	0,075	1,4	2552
Cítrico	77	0,240	0,08-0,45	0,094	0,578	0,061	0,497	0,066	1,4	1441
L	136	43,843	28,93-62,06	8,973	0,664	5,199	0,544	6,045	1,5	2552
a	91	18,393	-15,16-47,86	20,584	0,853	7,881	0,807	9,073	2,3	2552
b	133	33,811	9,05-65,22	16,170	0,746	8,142	0,645	9,607	1,7	2552
C	134	46,494	11,50-66,46	13,731	0,837	5,537	0,758	6,765	2,0	1441
h	92	71,476	27,30-132,34	36,348	0,783	16,944	0,739	18,475	2,0	1441

Tabla 5. Calibración y estadísticos de la validación cruzada para los parámetros nutricionales.

Parámetro	N	Media	Rango	SD	R ²	SEC	R ² VAL	SECV	RPD	Tratamiento
Fenol	84	13,149	9,19-18,03	1,962	0,811	0,853	0,704	1,085	1,8	1441
Carotenos	78	678,023	219,73-1272,66	278,288	0,945	65,346	0,873	102,477	2,7	1441
Ácido Ascórbico	81	12,058	4,93-19,23	2,649	0,811	1,152	0,713	1,412	1,9	1441

N: número de muestras usadas para realizar los modelos de calibración.

R²: coeficiente de determinación para la calibración.

SEC: error estándar de calibración.

R²VAL: coeficiente de determinación para la validación cruzada.

SECV: error estándar de la validación cruzada.

RPD: cociente entre SD y SECV.

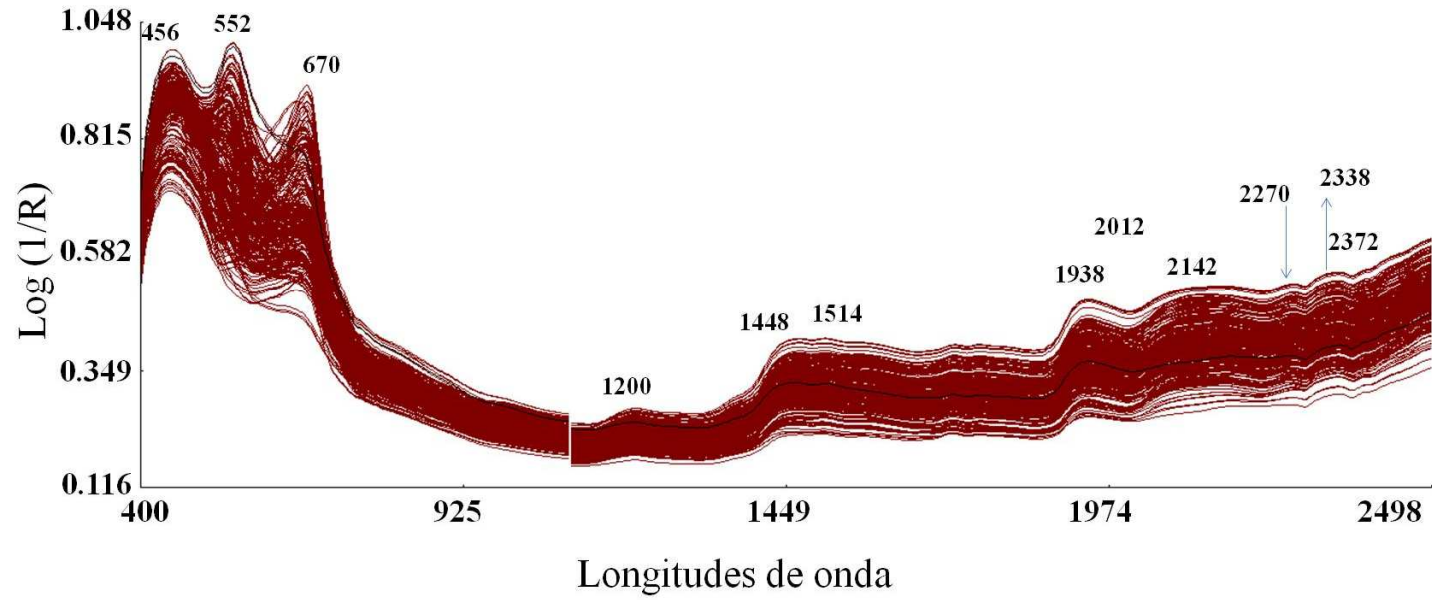


Figura 1. Espectros de reflectancia NIRS de muestras de pimienta.

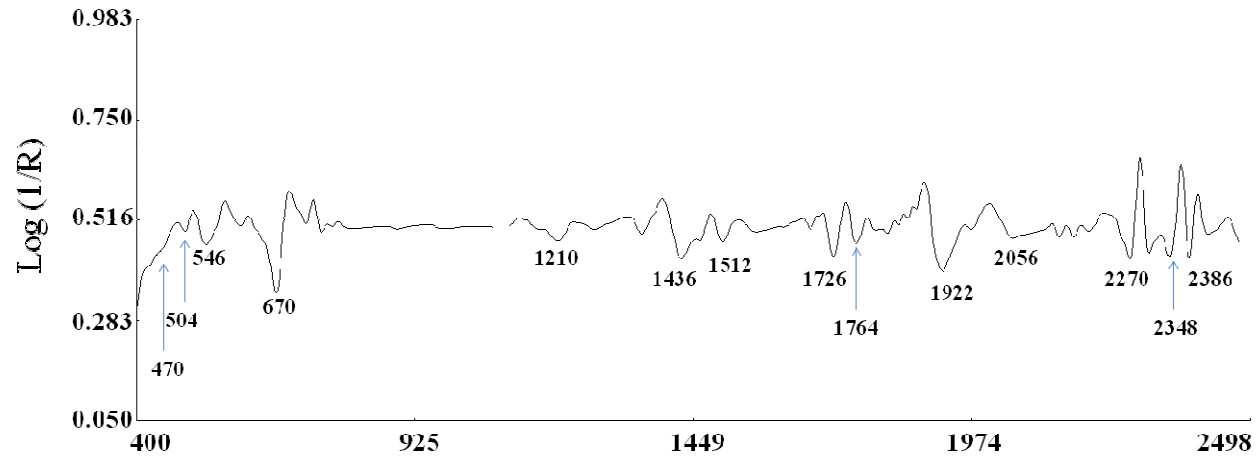


Figura 2. Segunda derivada del espectro medio de reflectancia en el infrarrojo cercano de frutos de pimiento.

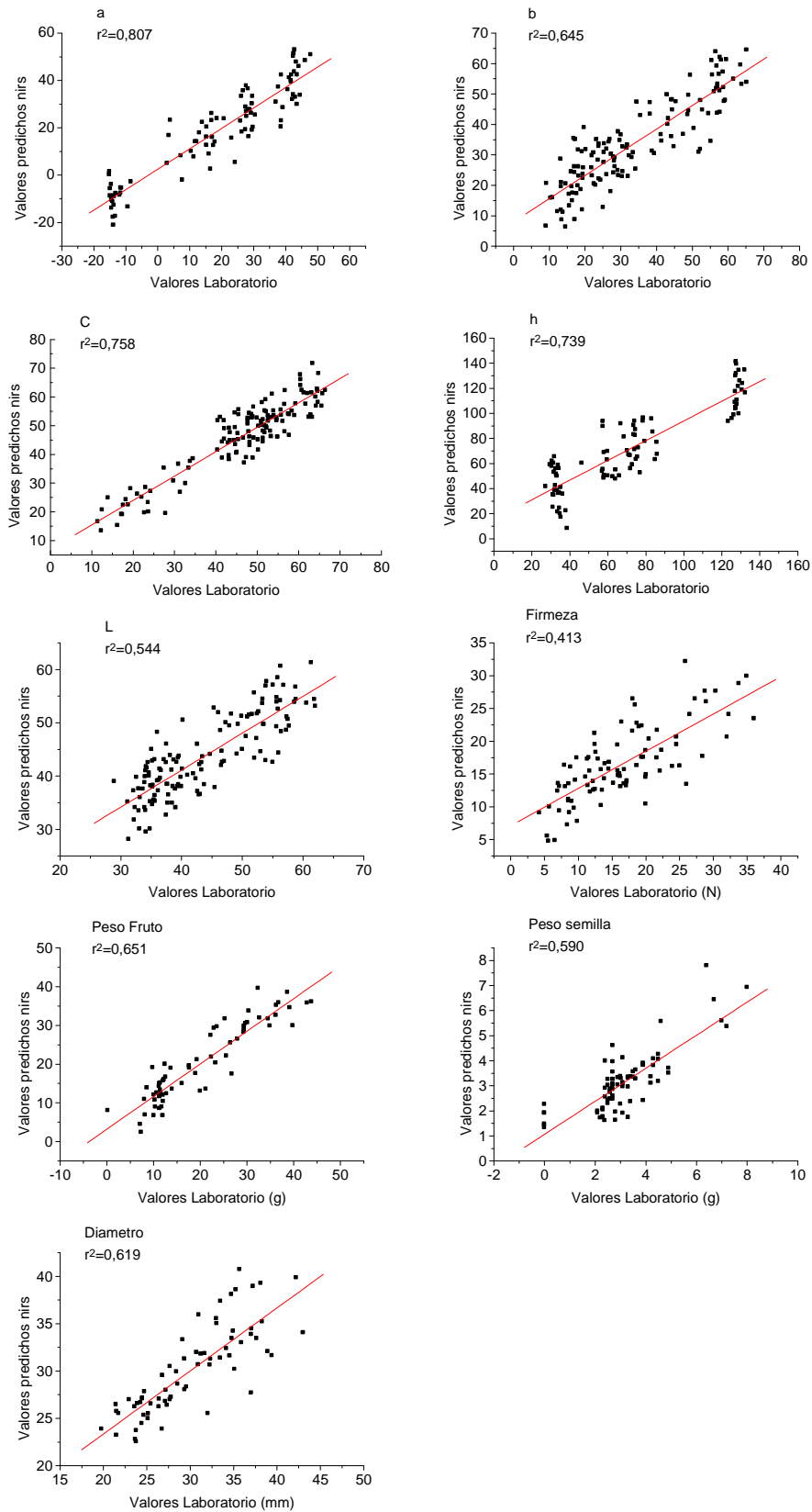


Figura 3. Relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros físicos y sensoriales: parámetros del color (a, b, C, ángulo hue y L), firmeza, peso de fruto, peso de semilla y diámetro.

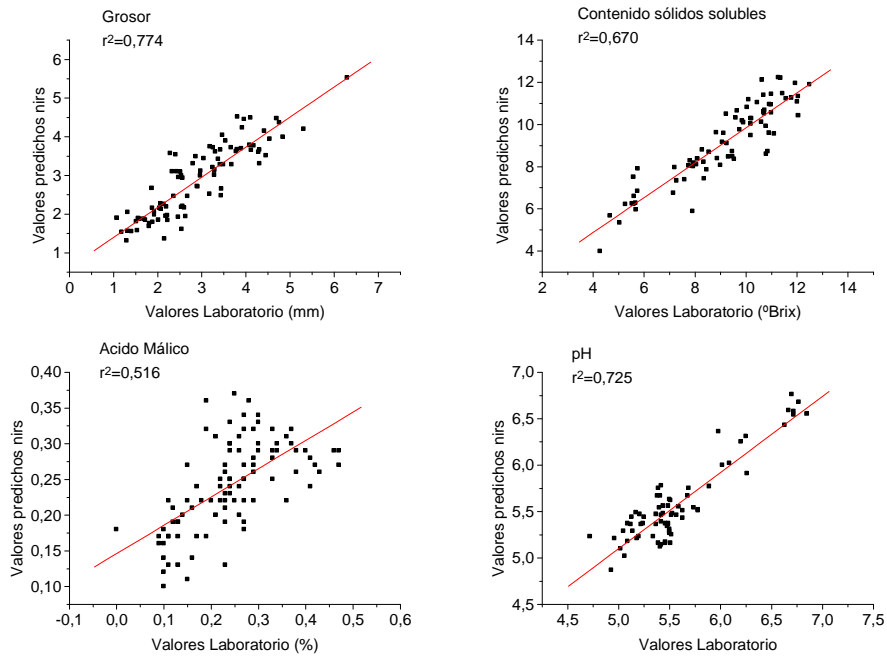


Figura 3 (Continúa). Relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros físicos y sensoriales: grosor, contenido en sólidos solubles, ácido málico y pH.

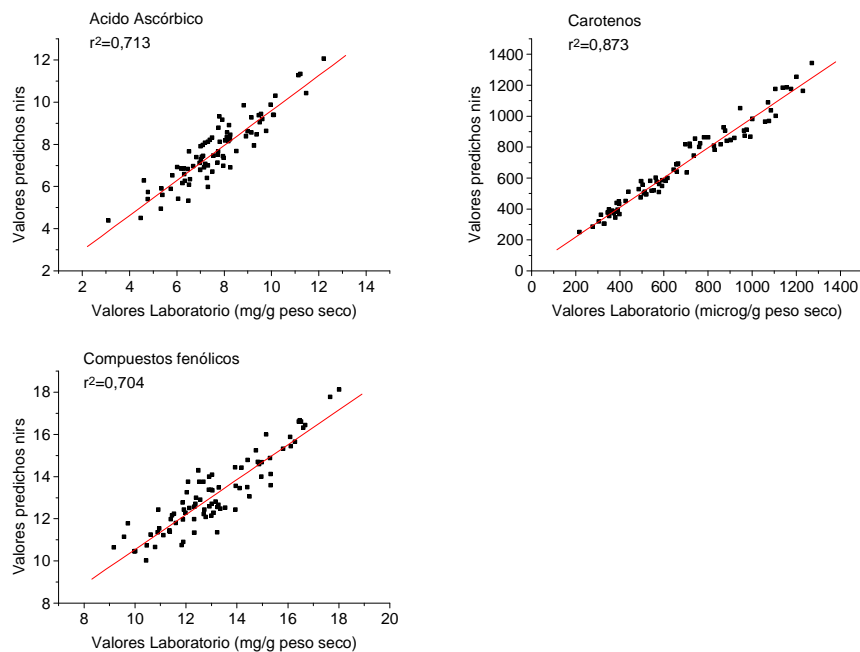


Figura 4. Relación entre la predicción de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y los valores de referencia para los parámetros nutricionales: contenido en ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos.



Fotografía 1. a) Equipo Phazir Rx (Polychromix, TM) portátil y b) Equipo NIRS modelo 6500 (Foss-NIRSystems).