

TECNOLOGÍA DE POSCOSECHA, CALIDAD DE LOS PRODUCTOS, TRAZABILIDAD

Florentino Juste,* Enrique Moltó*

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la producción hortofrutícola en España, tanto desde el punto de vista económico como social y cultural, exige una actualización continua de las labores de producción y de poscosecha del producto, de forma que permita su adaptación a unos mercados cada vez más competitivos y exigentes. La demanda de frutos de calidad por parte del consumidor obliga a dedicar más esfuerzos en los procesos de inspección, acondicionamiento y distribución de los mismos.

En la actualidad, las operaciones previas a la inspección, como son la descarga, el lavado, el encerado, el secado y el cepillado, presentan un nivel satisfactorio de mecanización, las tareas más críticas y determinantes de la calidad y de la capacidad de trabajo de una línea de confección; las operaciones de clasificación y envasado de los frutos son las que precisan de una mayor atención por parte de las iniciativas destinadas a conseguir incrementar el grado de automatización de las centrales. Además, por lo

general se trata de tareas costosas, repetitivas y tediosas para las personas.

La disminución de los costes de los componentes electrónicos y el aumento considerable de sus prestaciones hacen que la inspección automática del producto esté cada vez más introducida en el sector hortofrutícola español. Los sistemas automáticos de inspección no solo permiten la selección de fruta a alta velocidad, sino también la aplicación de criterios objetivos de calidad que se mantienen constantes en el tiempo.

Las operaciones de selección automática de fruta deben tender a imitar los procesos que siguen los consumidores para detectar la calidad intrínseca de un fruto, así, añaden al aspecto exterior apreciaciones indirectas sobre su sabor, estado de madurez o tiempo de conservación, etc. De esta forma, mediante los sentidos y a través del color, el tamaño, la presencia de manchas en la piel o, en algunos casos, palpando o produciendo un sonido, intentan determinar si el producto que van a comprar es de su satisfacción. Por este motivo, actualmente se intenta controlar la calidad de la fruta que sale del almacén a través del análisis más o menos automatizado de diver-

* Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada (Valencia).

sos parámetros físicos relacionados con la calidad del producto.

Otra de las preocupaciones más importantes del consumidor que está apareciendo en estos últimos años es la seguridad alimentaria y la fiabilidad de los sistemas de seguimiento y control. Como consecuencia de las últimas crisis alimentarias que han aparecido (vacas locas, dioxina, contaminación de coca-cola, listeriosis, etc.) se está imponiendo una necesidad en el sector agroalimentario: asegurar la calidad al consumidor. Para conseguir este objetivo el sector de frutas y hortalizas tiene a su disposición una serie de medidas cualitativas del producto. Algunas son obligatorias como el reglamento de higiene y seguridad alimentaria y otras medidas son de aplicación voluntaria como marcas de calidad, certificación de la empresa, etc., y la trazabilidad.

2. LOS CRITERIOS DE CALIDAD Y LAS NECESIDADES DE INSPECCIÓN AUTOMÁTICA

Los criterios de calidad en la clasificación de fruta se basan en:

— El *aspecto externo*, el cual viene dado por el tamaño, la forma, la firmeza, el color, la presencia y el tipo de daños.

— En las *cualidades organolépticas*, definidas por propiedades como la acidez, el dulzor, el aroma, la textura o la jugosidad.

— En el *aspecto interno*, especialmente la presencia de daños internos, o de pepitas, no visibles externamente.

— El valor nutricional y sanitario:

ausencia de residuos tóxicos, contenido en vitaminas, minerales, proteínas, etc.

La inspección automática de la calidad de un producto debe enfocarse en la medición de parámetros que definan lo mejor posible esas propiedades. Gran parte de los controles de calidad actuales utilizan métodos destructivos, basados en muestreos de cada partida de producto que intentan representar su estado global. Sin embargo, estos procedimientos no aseguran la calidad individual de los frutos y, a menudo, ralentizan considerablemente el proceso de selección.

El concepto de calidad del producto es cada día más importante en la relación oferta-demanda. Se ha pasado de la promoción de la producción a la penalización de excedentes. Esto se traduce en que el valor de la mercancía va a depender de la proporción que produzcamos de la calidad que el mercado demanda.

El mercado está demandando nuevos valores por lo que el buen éxito de una operación no solo depende de las condiciones del producto sino también de los valores añadidos con los que separamos acompañarlo, es decir, lo que se conoce genéricamente como SERVICIO.

Algunas empresas, como ANECOOP, mantienen que «el valor calidad ha dejado de ser un factor competitivo e incluso de diferenciación para convertirse en una condición indispensable para estar en el mercado, y la falta total o parcial de ella se convierte de inmediato en un grave riesgo para el proveedor».

La combinación de producto-calidad-precio y servicio se interrelaciona de tal forma que los cuatro factores son indispensables para la comercialización de productos hortofrutícolas y cada eslabono de la cadena producción-comercialización-consumidor prioriza unos u otros según sus intereses pero en general todos estos parámetros están presentes a la hora de la decisión final de compra.

En el cuadro I se indica un resumen de las exigencias comerciales de los mayoristas y minoristas, así como algunas preferencias de los consumidores en su elección de compra de fruta.

3. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DAÑOS EN FRUTOS

En lo referente a las técnicas específicas empleadas para la detección de daños, tanto los debidos a lesiones mecánicas, a defectos o desórdenes fisiológicos, a ataques de insectos o a enfermedades criptogámicas, se pueden distinguir dos tipos de técnicas no destructivas:

— Las técnicas orientadas a la identificación de lesiones externas que puedan observarse utilizando sensores sin capacidad de penetración en los tejidos.

— Aquéllas cuyo objetivo es la identificación de daños internos que no presenten una exteriorización visible en la superficie del fruto. Para su puesta en práctica se necesitan sensores que posean capacidad de penetración en los tejidos vegetales del fruto.

3.1. La detección de daños externos

Los daños que afectan a los frutos se pueden reunir en dos grandes grupos. Un primer grupo incluye todos los defectos que han tenido lugar antes de la llegada de la fruta al almacén, también conocidos como defectos «de campo», y un segundo grupo, también llamado «de manipulación», que engloba los defectos producidos a los frutos desde su recolección y entrada en el almacén para su selección, hasta la salida de ésta para su consumo.

Entre los defectos «de campo» cabe citar:

- Daños producidos por fenómenos meteorológicos.
- Daños producidos por hongos causantes de diversas podredumbres.
- Daños que se derivan de alteraciones fisiológicas o bioquímicas.

CUADRO I. Valoración de exigencias y preferencias de comerciantes y consumidores.

Comerciantes exportadores (estrategias)	Comerciantes minoristas (exigencias)	Consumidor Francia	Consumidor España
<ul style="list-style-type: none"> • Calidad y presentación • Servicio • Control de procesos previos • Potenciar la marca • Reducción de costes • Otros 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad (58 %) • Precios (28 %) • Otros (24 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • Frescura • Calidad • Variedad • Precios • Libre elección • Otros 	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación • Calidad • Productos naturales • Oferta y diversificación • Precios • Otros

— Daños producidos en la recolección y el transporte.

Entre los defectos «de manipulación» citamos:

— Daños que se producen en las propias líneas de confección, provocados sobre todo por la inadecuada aplicación de desinfectantes, fungicidas y ceras, que causan serios defectos. Se incluyen asimismo los daños mecánicos por rozamiento, choque o punción con diferentes elementos de las máquinas.

— Daños de manejo en cámara de frío o desverdización.

— Daños y podredumbres causados durante la conservación de la fruta en las cámaras frigoríficas.

Hay defectos que son más peligrosos que otros, y que conviene detectar antes de su puesta en el mercado por su posterior evolución. Por ejemplo, hay manchas que no evolucionan y que se observan a simple vista. Otras manchas, sin embargo, aparecen después de un cierto tiempo de almacenamiento y son producidas principalmente por daños recientes en la recolección, la mosca del Mediterráneo, los golpes o los ataques de hongos. Para la identificación de daños externos y subsuperficiales, los métodos más utilizados se basan en sistemas de visión artificial en los que se emplean cámaras con sensibilidad a la radiación visible, si bien en ocasiones dicha sensibilidad se ve ampliada al espectro infrarrojo o con iluminación ultravioleta.

Las centrales hortofrutícolas actuales cuentan con líneas de inspección de frutos en las que la mayoría del trabajo de clasificación recae sobre trabajado-

res temporales. La clasificación por tamaño se realiza mecánicamente, y también se han introducido algunos sistemas ópticos para la determinación del color global de los frutos. Sin embargo, la automatización de la identificación de defectos se encuentra todavía en fase inicial y en los pocos casos en los que se han implementado sistemas de este tipo se reducen a la detección de manchas oscuras en la superficie del fruto, sin llegar a distinguir entre los diversos tipos de defectos.

La posibilidad de implementar sistemas automáticos de inspección en línea pasa por el reconocimiento de los tipos de daños que se dan en los frutos y por el desarrollo de metodologías que permitan caracterizarlos con un alto grado de fiabilidad. En este sentido, los sensores ópticos suministran datos relevantes para ser utilizados en un sistema de toma de decisión, de cara a una clasificación de la fruta según parámetros y características de calidad previamente definidas.

3.2. La detección de daños internos

Dentro de las técnicas de detección de daños internos, la tomografía de rayos X permite la adquisición de imágenes de secciones transversales de los frutos. Esta técnica se basa en las diferencias existentes en cuanto a la absorción de rayos X de distintos tejidos vegetales. Se ha trabajado en la detección de la calidad interna de varias frutas y hortalizas (cítricos, manzana, albaricoque, cebolla, col, etc.) utilizando escáners electrónicos industriales y obteniéndose buenos resultados, por ejemplo, para la detección del

«bufado» en mandarinas y deficiencias hídricas internas de los frutos.

Otra técnica utilizada en la detección de daños internos es la resonancia magnética nuclear, basada en la medida de cambios en la magnitud de un campo magnético en función de la posición espacial. Existe la posibilidad de detectar regiones desecadas en el interior de naranjas e incluso determinar su cuantía. Esta técnica se puede emplear para determinar la composición y la estructura interna de algunos alimentos para la industria de procesado, incluyendo la detección de lesiones en frutos, daños por larvas, estrés hídrico y oquedades.

Existen numerosos trabajos en la literatura destinados a la definición del grado de madurez de los frutos de forma no destructiva. Estos métodos se basan en la medida de uno o varios parámetros que se correlacionan con aquél. El más estudiado probablemente sea el contenido en azúcar, el cual se ha medido también por resonancia magnética nuclear, que permite medir variaciones en el contenido de agua del fruto, y relacionarlas con su concentración de azúcares.

Para la determinación del contenido en azúcar también se han utilizado técnicas de láser o de espectrometría infrarroja, obteniéndose con esta última técnica buenos resultados en cebollas, manzanas, nectarinas y melocotones. Los cítricos presentan la dificultad de que la corteza es muy gruesa y su contenido en azúcar no está bien relacionado con el contenido de azúcar de la pulpa.

Otros parámetros medidos para estimar la madurez han sido la firmeza o

los compuestos volátiles que definen el aroma de un producto, aunque las técnicas utilizadas están muy lejos de ser empleadas en las líneas de confección.

4. DESARROLLO DE SENSORES PARA LA MEDIDA OBJETIVA DE LA CALIDAD

4.1. Sensores de firmeza

La firmeza interesa al consumidor porque normalmente está relacionada con la madurez de la fruta, con el tiempo de conservación en cámara o con la vida útil del producto. También puede indicar si la fruta ha experimentado cualquier tipo de daño físico, y se trata de uno de los aspectos más importantes en el que los consumidores basan su decisión de compra, por ejemplo en melones, melocotones, peras y manzanas.

Los métodos tradicionales para la medida de firmeza se basan en pruebas destructivas, o en pruebas que pueden producir algunos daños a la fruta. El método más extendido es el Magness-Taylor, basado en la resistencia a la penetración de un dispositivo cilíndrico en la pulpa. Debido a que es un método destructivo, se usa únicamente en muestras y no sobre toda la producción. Actualmente se está investigando en varios métodos no destructivos para la medida de la firmeza, basados en vibraciones, ultrasonidos o en la compresión de la fruta.

Numerosos grupos de investigación están trabajando en el desarrollo de sensores de impacto capaces de evaluar la firmeza de la fruta y de relacionar sus medidas con la calidad de diferentes fru-

tas (mandarinas, naranjas, manzanas, peras, tomates y melocotones). La investigación tradicional ha tratado de relacionar las medidas obtenidas con los nuevos sensores que van apareciendo, con las medidas que se obtienen con los métodos existentes (principalmente con el Magness-Taylor) que no son muy precisos, carecen de repetibilidad y nunca se han usado para la estimación de la calidad individual de la fruta. Además, estas medidas no suelen corresponderse con los atributos organolépticos, que son sumamente importantes para determinar la calidad desde el punto de vista de los consumidores.

En general estos sensores de firmeza se basan en sensores de impacto a través de una célula de carga que registra el impacto de una fruta o mediante masas cilíndricas de acero que golpean ligeramente o caen sobre la fruta desde una altura determinada.

Muchos de estos sensores están ofreciendo buenas perspectivas para la aplicación en línea, no solamente por sus capacidades de discriminación, sino también porque no producen daños en las frutas ensayadas.

4.2. Sensor de aromas

La mayoría de la maquinaria de confección evalúa la calidad de la fruta básicamente a través del tamaño, el color y el aspecto de la misma. Sin embargo, para algunas especies como, por ejemplo, los melocotones o los melones, los consumidores también basan su decisión de compra sobre otros aspectos cualitativos, tales como la firme-

za o el aroma. Varios autores han usado la cromatografía gaseosa y la espectrometría de masas para identificar los compuestos volátiles que se emiten naturalmente durante la maduración o la ruptura de la piel de algunas frutas. La importancia del estudio de estos compuestos se deriva también del hecho de que, en muchos casos, se ha encontrado una relación clara entre el envejecimiento del producto y la cantidad de emisión de algunos volátiles (tales como el linalol o el benzaldehído).

Actualmente, varios fabricantes han desarrollado diferentes transductores de concentración de gases, y la mayoría de ellos se basan en técnicas cromatográficas rápidas. Estas técnicas tienen una fiabilidad muy alta, pero presentan desventajas para su empleo en una línea: alto precio, difícil calibración y mantenimiento, compleja preparación de muestras, etc.

Por otra parte, existen también, aunque menos desarrollados, transductores que identifican los compuestos volátiles a través del análisis de su estructura estereoquímica mediante una serie de polipirroles. Los transductores de estado sólido cambian su resistencia en contacto con diversos gases. Otros transductores absorben las moléculas gaseosas y el aumento de masa que se consigue sirve para estimar la concentración de determinados compuestos.

4.3. Técnicas de visión artificial

El desarrollo de las aplicaciones de las técnicas de visión artificial en la inspección de productos agrícolas se debe a la necesidad de encontrar una alterna-

tiva a los métodos de inspección manual tradicionales. La introducción de estas técnicas permite:

— Eliminar el contacto con el producto, evitando así daños mecánicos en los mismos.

— Reducir la mano de obra en las tareas con frecuencia tediosas de inspección, reduciendo el subsiguiente coste económico.

— Introducir cierta flexibilidad a las líneas, de forma que una misma línea pueda adaptarse a varios productos modificando la programación.

— Una mayor fiabilidad y objetividad respecto a la inspección humana, ya que las decisiones tomadas por los operarios se ven afectadas por factores como el cansancio, los hábitos adquiridos, etc.

— Evitar la inconveniencia de los métodos de control de calidad destructivos, que aumentan los tiempos de inspección y no aseguran la calidad individual de los frutos.

No obstante, la automatización de la inspección de productos agrícolas presenta algunas particularidades y problemas con respecto a otros sectores, por ejemplo:

— La gran variabilidad de los productos, debida tanto a diferencias entre especies y variedades como a diferencias individuales de forma, color, tamaño, etc.

— La evolución fisiológica que continúan experimentando los frutos tras la recolección, dada su condición de «elementos vivos».

— La dificultad en la selección de las características apropiadas para evaluar la calidad, que depende del tipo de producto.

— La fragilidad del producto, que condiciona el tipo de máquinas y técnicas que se utilizan.

— La estacionalidad de la producción y los bajos beneficios medios obtenidos limitan las posibles inversiones en automatización.

Son susceptibles de medirse con un sistema de visión artificial aquellos factores de la calidad que se refieren a:

— Tamaño, calibre o volumen.

— Forma.

— Color.

— Defectos en la piel.

Las máquinas automáticas para la detección de los defectos de la piel de los frutos deben ser capaces de distinguir entre los defectos reales y otras partes del fruto que pueden confundir a un sistema de visión artificial, tales como el pedúnculo o el cáliz (presente en la mayor parte de las frutas), el ombligo (presente en las variedades de naranjas *Navel*) o las hojas. En algunos casos, la ausencia del pedúnculo implica una falta de calidad (tal es el caso de las manzanas) o la presencia de un pedúnculo mal cortado implica daños posteriores en la piel de otros frutos (como en las naranjas).

La disponibilidad creciente de procesadores más rápidos y potentes está permitiendo el manejo de una mayor cantidad de información por lo que se están introduciendo cámaras específicas multispectrales, con varios CCD que reciben la imagen a través de filtros diferentes, permitiendo trabajar en la parte visible e infrarroja del espectro de forma simultánea.

A pesar de todas estas posibilidades esta técnica conlleva algunos problemas para la inspección automática de la calidad y entre los que podemos señalar:

- La iluminación.
- El fondo de las imágenes.
- La resolución de las imágenes.
- La fruta no se singulariza.
- Ruido electromagnético generado por la maquinaria del almacén.
- Necesidad de procesamiento a muy alta velocidad, lo que obliga a diseñar un *hardware* específico y a optimizar los algoritmos de visión.

Todo ello se traduce en que los sistemas adolecen de:

- Flexibilidad: es difícil trabajar con diferentes especies de fruta, ya que las aplicaciones de visión suelen ser específicas y poco flexibles.
- Reproducibilidad: la suciedad de las líneas o de la fruta, la falta de mantenimiento de los sistemas de iluminación repercuten negativamente sobre el rendimiento y reproducibilidad.
- Precisión: los sistemas actuales son cada vez más precisos, aunque todavía necesitan de algoritmos más complejos y de mayor resolución en las imágenes para calcular las características de la fruta con mayor precisión.

4.4. Integración de sensores

Como se ha indicado en apartados anteriores existen numerosos sistemas y sensores que permiten detectar diferentes propiedades de la fruta y obtener parámetros de calidad. Un almacén au-

tomatizado en la determinación de la calidad de la fruta debería permitir:

- Proporcionar un tratamiento delicado al producto.
- Desarrollar sistemas sensores capaces de determinar no destructivamente la calidad de la fruta.
- Integrar estos sistemas de tal forma que la información procedente de los diferentes sensores incremente la fiabilidad y robustez del proceso de clasificación y seguimiento de la fruta.

Así se debería llegar a una clasificación de la fruta en función de:

- La presencia y cantidad de defectos en la piel, el color dominante o secundario, el calibre y la densidad aparente, gracias a un sistema de visión artificial.
- Su contenido en azúcar, que se determina mediante espectrofotometría de reflexión infrarroja.
- La firmeza, que se mide con un sensor de impactos.
- El aroma, que permite la estimación indirecta de la madurez y permite detectar roturas de la piel.

La calidad, la presentación y el seguimiento de la fruta exige una mejora en todo el proceso de manejo y especialmente en la maquinaria de manipulación, tanto desde el punto de vista del diseño, como de la regulación y el mantenimiento.

El actual nivel tecnológico de la industria de componentes electrónicos, su disminución progresiva de costes y el aumento de sus prestaciones hacen que la inspección automática esté cada día más introducida en las actuales cen-

trales hortofrutícolas y que los procesos sean más rápidos y con criterios objetivos de calidad.

Estos factores unidos al desarrollo de sistemas de producción más sostenibles y a unos mejores controles de calidad y trazabilidad deben permitir mantener a este sector su liderazgo y competitividad defendiendo fundamentalmente factores de precio pero especialmente factores de calidad y garantía de servicio.

5. LA TRAZABILIDAD COMO SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

La norma ISO 8402 dice que «trazabilidad es la capacidad de encontrar el proceso histórico, la utilización o la localización de un artículo o de una actividad, o de artículos o actividades semejantes, mediante identificaciones registradas». Esta trazabilidad aplicada a productos hortofrutícolas podemos definirla como el conjunto de procedimientos que permiten la identificación de la materia prima con la que se ha producido determinado producto y la identificación de las características relevantes del proceso productivo utilizado.

El reglamento actual impone la trazabilidad para carne de vacuno, órganos genéticamente modificados (OGM) y productos ionizados. A pesar de que únicamente sea obligatorio en estos productos, la trazabilidad debe figurar, o hacer que tienda a figurar, en cualquier signo de determinación de marca de calidad y a que cualquier sistema que indique trazabilidad signifique identificación y registro de datos.

Según el objetivo final y los medios puestos a disposición de este procedimiento debe permitir una trazabilidad:

— Ascendente: en cualquier momento del producto debe ser posible encontrar su histórico, el origen de la partida y el camino recorrido y si es posible las deficiencias que han aparecido.

— Descendente: en cualquier momento debe poderse conocer el destino de la partida y si fuese necesario en algunos casos paralizar la comercialización.

— Total: este tipo de trazabilidad total debe permitir determinar de forma precisa el origen y el destino de cualquier partida.

Cualquier empresa o cooperativa que decida poner en marcha un sistema de trazabilidad para productos hortofrutícolas debe entrar en un nuevo concepto de seguimiento y control del producto y con la intención de intervenir sobre todos aquellos factores que se detecten como mejora de la calidad final del producto.

Como paso previo a la puesta en marcha de un sistema de trazabilidad la empresa debe plantearse entre otras, algunas de estas preguntas:

— ¿Qué obligaciones y reglamentos rigen el sector?

— ¿Qué objetivos y mejoras del producto se van a ofrecer al mercado y qué espera el consumidor de este producto?

— ¿De quién es la demanda principal para su implantación?

— ¿Que otras iniciativas sobre esta técnica se están implantando en el mercado?

La trazabilidad del producto debe estar relacionada con la estrategia y la organización de la empresa, planteando los aspectos de información relativos al producto, al cliente y al transportista y distribuidor.

Así, el sistema de trazabilidad debe considerar:

— Definición y determinación de las características del producto, destacando las partidas a identificar, parámetros, sistemas, etc.

— Soluciones adoptadas y medios necesarios; sistemas de identificación, necesidades de almacén, coste de la puesta en marcha, etc.

— Definición del proceso y flujo de información:

En el cuadro II se indica un esquema de lo que podría ser un flujo de proceso e información para frutas.

Se podría resumir en este punto que la trazabilidad es un procedimiento que se está imponiendo en los sistemas actuales de comercio y es también una herramienta de control del flujo de productos. La implantación de un sistema de trazabilidad representa una inversión considerable y un sistema de organización de la logística y de la gestión de la calidad por lo que la puesta en marcha de este sistema de trazabilidad debe representar un buen momento de análisis y de reflexión sobre la gestión del almacén y la empresa.

CUADRO II. *Flujo de información y sistema de información.*

Proceso	Información	Identificación
Campo	Identificación de parcela Sistema de producción	Datos de campo
Entrada almacén	Unidad de producción Recolección (fecha) Variedad y producción Calibre y calidad	Código de entrada
Desplazamiento en almacén	Almacén, cámara de desverdización Cámara frío, etc.	Lectura códigos de barras/cámaras
Vaciado en línea	Captura de información	Lectura de código de barras
Calibrado y selección	Seguimiento de la fruta por partidas y según velocidad	Estudio de tiempos y velocidades
Envasado	Marcado del envase final SSCC (00) clave de trazabilidad	Código de barras EAN 128
Carga	Códigos seriados 00 en palés Permite reconocer el destino de las unidades del mismo lote	