

# Aplicabilidad de un sistema de sensor de anillo óptico para determinación en línea del tamaño de frutos alargados y redondeados

Guillermo P. Moreda, Jaime Ortiz-Cañavate, Francisco J. García-Ramos<sup>1</sup>,  
Margarita Ruiz-Altisent

*LPF-TAG. Dpto. Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agrónomos. Ciudad Universitaria S/N.  
28040. Madrid. E-mail: guillermo.moreda@upm.es*

<sup>1</sup> *Escuela Polit. Sup. de Huesca. Univ. de Zaragoza. E-mail: fjavier@unizar.es*

**Resumen:** Este trabajo analiza la aplicabilidad de un sistema de sensor de anillo óptico para determinar el tamaño de frutos alargados y redondeados. El sistema estudiado ha demostrado ser altamente interesante para determinar el tamaño de productos alargados a altas velocidades. Para los frutos redondeados, la precisión y exactitud de las estimaciones de volumen del sensor en condiciones de orientación aleatoria fue baja, debido al balanceo de los frutos en el momento de atravesar el anillo.

**Palabras Clave:** Calibre, Volumen, Orientación, Anillo óptico, Línea de Manipulación

**Abstract:** This work reports on the applicability of an optical ring sensor system to determine the size of elongated and rounded fruits. The optical ring sensor system has proved to be of a big interest for the sizing of elongated produce at high speeds. For the rounded fruits, the precision and accuracy of the sensor volume measurements under a random orientation was low, due to the swing of the fruits when crossing the optical ring sensor.

**Keywords:** Size, Volume, Orientation, Optical ring, Grading-Line

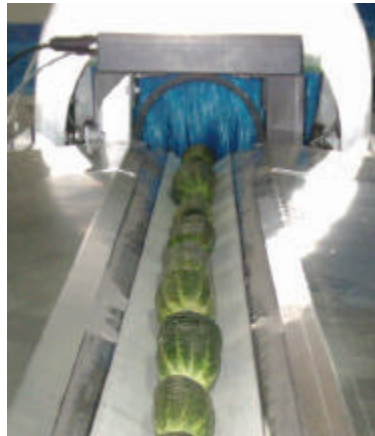
## 1. Introducción y objetivos

Un área importante de investigación dentro del sector poscosecha de frutas y hortalizas es el desarrollo de métodos no destructivos para determinar características físicas de los productos, con el propósito de mejorar y automatizar su clasificación [1]. Aunque la mayor parte de la investigación en los últimos años ha estado enfocada a la detección de defectos, se observa un interés creciente en la determinación del tamaño y la forma [2]. Gall [3] desarrolló un sensor de anillo óptico basado en el bloqueo de haces de luz capaz de medir en tiempo real el tamaño de los objetos que lo atraviesan. Los autores del presente trabajo establecieron un acuerdo de colaboración con H. Gall para evaluar la aplicabilidad del citado sensor como dispositivo calibrador de frutas y hortalizas, habiendo ello derivado en una serie de trabajos previos [4, 5, 6]. El objetivo del presente trabajo es evaluar la aplicabilidad del sistema formado por un alineador de 2 m de longitud y el sensor de anillo óptico para determinar el tamaño de frutos alargados y redondeados.

## 2. Materiales y métodos

El alineador o doble banda en V empleado se caracteriza porque sus dos bandas corren a la misma velocidad, que puede ser modificada mediante un variador electrónico de tensión y frecuencia. La valoración de la fiabilidad -medida conjunta de exactitud y

precisión- de las estimaciones para frutos alargados se hizo sobre calabacín y pepino (cv. Alexander). La influencia de la orientación fue analizada en naranjas (cv. Navelina) y kiwis (cv. Hayward). El efecto de la orientación no fue considerado en los productos alargados porque debido a su forma sólo hay una orientación lógica sobre el alineador, que es la longitudinal (fig. 1).



**Figura 1.** Pepinos dispuestos sobre el alineador, antes de atravesar el anillo óptico.

El sensor de anillo óptico realiza, de forma no destructiva, secciones transversales verticales a cada objeto que lo atraviesa. De los parámetros estimados por el sensor, los que se han utilizado en este trabajo son el volumen (VolS), la longitud (LonS) y el eje mayor de la sección máxima (EMSMX). En cuanto a las referencias, el calibre máximo transversal (CMT) de los diferentes productos fue determinado con un pie de rey. La longitud de referencia (LonR) de los frutos alargados se midió en proyección. Los volúmenes de referencia (VolR) se determinaron mediante balanza hidrostática, y la masa (M) de los kiwis con una balanza electrónica.

## **2.1 Ensayos para evaluar el comportamiento del sistema con frutos alargados**

### **2.1.1 Ensayo de calabacín**

Se emplearon 47 calabacines de formas variadas. Se compararon dos velocidades de trabajo del alineador, 1,4 m/s y 2 m/s. No se llevaron a cabo repeticiones, es decir, cada fruto pasó una sólo vez a través del anillo para cada velocidad.

### **2.1.2 Ensayo de pepino**

Se utilizaron 50 pepinos (cv. Alexander); esta variedad es de tipo “español”, es decir, corto. El diseño de este ensayo coincide con el de calabacín.

## **2.2 Ensayos para evaluar la influencia de la orientación**

Se compararon dos orientaciones: una controlada y otra aleatoria. La primera consistió en colocar los frutos orientados longitudinalmente, es decir, con su eje polar paralelo a la línea, mientras que en la segunda se dotó a los frutos de una orientación aleatoria, para simular condiciones comerciales de funcionamiento.

### 2.2.1 Ensayo de naranja

Se emplearon 50 naranjas (cv. Navelina). Para cada orientación cada fruto pasó una sola vez por el sensor de anillo óptico. La velocidad de las bandas fue fijada en 1 m/s.

### 2.2.2 Ensayo de kiwi

Se dispuso de 50 kiwis (cv. Hayward), pertenecientes a dos calibres comerciales. Este ensayo se realizó siguiendo un diseño factorial: para cada orientación se probaron dos velocidades (1 y 1,4 m/s), y no se efectuaron replicaciones.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Fiabilidad de las estimaciones en producto alargado

#### 3.1.1 Calabacín

Se llevaron a cabo tres análisis de varianza de la velocidad sobre VolS, EMSMX y LonS, para determinar si existían diferencias entre las dos velocidades probadas, resultando valores de F de 0,48, 0,04 y 0,03 respectivamente, de donde se dedujo la ausencia de diferencias significativas. Estos resultados representan una ventaja para la aplicación práctica del sistema, ya que permiten el empleo de una velocidad u otra indistintamente. En cuanto a la fiabilidad de las estimaciones, la correlación de VolS frente a VolR fue muy elevada ( $r^2 = 0,99$ ), como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Producto alargado. Coeficientes  $r^2$  y errores estándar de las regresiones de EMSMX, VolS y LonS frente a sus respectivas medidas de referencia, para la velocidad de 1,4 m/s.

Producto	Diámetro máximo		Volumen		Longitud	
	$r^2$	Error Std. (mm)	$r^2$	Error Std. (cm <sup>3</sup> )	$r^2$	Error Std. (mm)
Calabacín	0,91	1,92	0,99	10,1	0,95	4,5
Pepino	0,96	0,88	0,98	5,3	0,99	1,6

#### 3.1.2 Pepino

Al igual que en el ensayo de calabacín tampoco se encontraron diferencias significativas entre las dos velocidades probadas. Los coeficientes de determinación ( $r^2$ ), todos mayores del 95 % se incluyen en la tabla 1, donde se observa también que el error estándar de la estimación lineal de la longitud de los pepinos fue de 1,6 mm. En relación a esto, [7], midiendo en condiciones estáticas pepinos mediante análisis de imagen obtuvieron una desviación típica del parámetro longitud de 1,4 mm. Dividiendo ambos valores (1,6 y 1,4 mm) entre la longitud media de los frutos de sus respectivos ensayos, el error menor correspondería al equipo de [7], ya que los pepinos empleados por ellos eran más largos. No obstante, la importancia de los resultados mostrados en nuestro trabajo radica en que se corresponden con velocidades de trabajo elevadas.

### 3.2 Influencia de la orientación

#### 3.2.1 Naranja

Debido a que la orientación controlada de las naranjas se ejecutó alineando su eje polar con la línea, era lógico correlacionar CMT frente a EMSMX. Los resultados de las regresiones entre dichas variables por un lado y entre VolS y VolR por otro se resumen en la tabla 2.

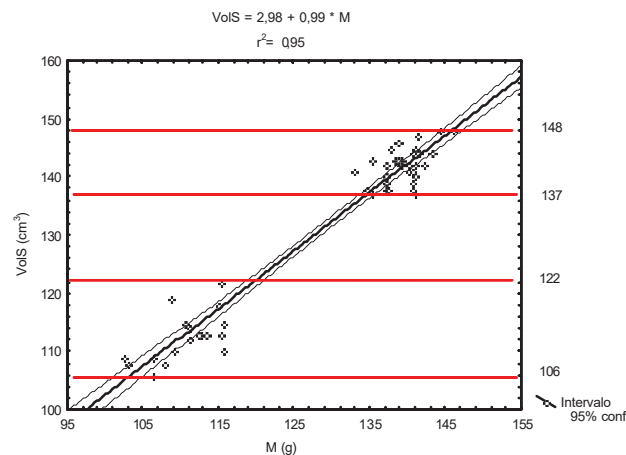
**Tabla 2.** Ensayo de naranja. Coeficientes  $r^2$  y errores estándar de las regresiones de EMSMX y VolS frente a sus respectivas medidas de referencia.

Orientación	Diámetro máximo		Volumen	
	$r^2$	Error Std. (mm)	$r^2$	Error Std. (cm <sup>3</sup> )
Controlada	0,78	1,07	0,91	7,4
Aleatoria	0,42	---	0,52	---

La existencia de una baja correlación ( $r^2 = 0,42$ , tabla 2) entre EMSMX y CMT con la orientación aleatoria se debe a que cuando los frutos atraviesan el anillo con orientaciones diferentes de la longitudinal, el CMT no aparece en las secciones transversales. Por otro lado, la baja correlación ( $r^2 = 0,52$ ) entre VolS y VolR bajo orientación aleatoria se explica por la falta de estabilidad o balanceo de los frutos al cruzar el anillo óptico.

### 3.2.2 Kiwi

Se llevó a cabo un análisis de varianza de la velocidad sobre EMSMX, tanto para orientación controlada como aleatoria. En el primer caso no se encontraron diferencias significativas entre las dos velocidades mientras que con la orientación aleatoria sí aparecieron diferencias significativas. Análogamente se llevó a cabo un análisis de varianza de la velocidad sobre VolS, y se obtuvo la misma conclusión. La regresión entre EMSMX y CMT bajo orientación controlada arrojó un  $r^2$  de 0,87, mientras que la misma regresión con orientación aleatoria arrojó un  $r^2$  de 0,06. La razón de la casi nula covariación en el segundo caso era de esperar, por la misma razón expuesta en el caso de naranja; por ejemplo, en el caso particular de paso de un fruto con su eje polar perpendicular a la línea, el CMT del fruto es interpretado por el sensor como LonS. Debido a esto, se intentó ver si la correlación para el caso de orientación aleatoria aumentaba eligiendo como variable dependiente la media aritmética de LonS y EMSMX, pero el resultado fue adverso. Por otro lado, como la velocidad había mostrado efecto significativo en orientación aleatoria, se calculó también el  $r^2$  correspondiente a 1,4 m/s. Finalmente, a la luz de todo lo anterior se concluyó que el calibrado de kiwis orientados aleatoriamente a partir de estimaciones de EMSMX es inviable. Por otra parte, [8] establece que el calibre viene determinado por el peso del fruto. La figura 2 representa VolS frente a M, para orientación controlada, resultando un  $r^2$  de 0,95.



**Figura 2.** Relación entre las estimaciones de volumen del sensor (VolS) y la masa de los kiwis (M), para orientación controlada y velocidad de 1 m/s.

La masa media del calibre comercial menor de kiwis fue 110,6 g, mientras que para el calibre mayor fue 139,5 g. Para verificar el cumplimiento de las disposiciones de calibrado con el sensor de anillo óptico, hay que tener en cuenta que [8] establece que la diferencia en peso entre el fruto mayor y el menor de un envase no debe sobrepasar 15 g para fruta que pese entre 85 y 120 g, y 20 g para fruta entre 120 y 150 g. Por otro lado, la densidad media de los frutos fue de 1,03 g/cm<sup>3</sup>. Haciendo los cálculos pertinentes se obtuvo que para el calibre comercial mayor se cumple [8], mientras que para el calibre menor no. Sin embargo en este segundo caso, teniendo en cuenta la tolerancia admitida del 10 % [8] se cumplieron finalmente los condicionantes establecidos. En lo que respecta a la orientación aleatoria, la regresión entre VolS y M para la velocidad de 1 m/s arrojó un  $r^2$  de 0,65. Procediendo de la misma manera que para la orientación controlada, para el calibre mayor no se satisfizo [8] para ninguno de los dos calibres, ni siquiera teniendo en cuenta la tolerancia del 10 %. Para la velocidad de 1,4 m/s se obtuvo un  $r^2$  de 0,59 entre VolS y M; como este  $r^2$  es menor que el correspondiente a 1 m/s (0,65), y en este último caso no se cumple la norma, menos aún se cumplirá para 1,4 m/s. Resumiendo todos los casos de correlación entre VolS y M analizados, se concluye que [8] es satisfecha cuando los kiwis son orientados longitudinalmente pero no lo es cuando la orientación es aleatoria.

Finalmente conviene destacar que los resultados obtenidos con orientación aleatoria fueron peores de lo esperado a priori, ya que teóricamente [9], debido a la convexidad de los kiwis, su orientación no debería afectar a la precisión de las estimaciones de volumen. La explicación de esta discordancia se encuentra en el balanceo de los frutos en el alineador cuando están cruzando el anillo: se puede afirmar que con un alineador más largo (vgr. 3 m en vez de 2 m) y manteniendo la misma forma de arrojar los kiwis sobre el alineador, las medidas de volumen con orientación aleatoria serían más fiables, ya que los frutos tendrían tiempo para estabilizarse completamente antes de atravesar el anillo óptico.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto se concluye que los mejores resultados del sistema se obtienen para los frutos alargados, con la ventaja de una orientación longitudinal fácil de conseguir. Por tanto el diseño del subsistema eyector debería enfocarse a estos productos; una posibilidad sería disponer una cinta distribuidora junto con pequeños pistones neumáticos para empujar los frutos hacia la salida apropiada.

#### **4. Conclusiones**

Se ha evaluado la fiabilidad de un sistema de sensor de anillo óptico para estimar parámetros geométricos de productos hortícolas alargados y se ha estudiado la influencia de la orientación de los frutos en un producto elipsoidal (kiwi) y otro cuasi-esférico (naranja). Se han obtenido las siguientes conclusiones:

? El sistema es muy fiable en la determinación a alta velocidad de diámetro máximo, volumen y longitud de frutos alargados como pepino y calabacín, con coeficientes  $r^2$  entre las estimaciones del sensor y sus correspondientes medidas de referencia siempre mayores del 90 %. Para poder explotar comercialmente el sistema hay que diseñar un subsistema eyector adaptado a este tipo de producto.

? El sistema es fiable en la determinación de diámetro máximo transversal de frutos cuasi-esféricos y elipsoidales cuando éstos son presentados al sensor con una orientación fija, pero no lo es cuando la orientación es aleatoria. En la determinación de

volumen la orientación aleatoria también proporcionó peores resultados que la controlada, debido al balanceo de los frutos en el momento de atravesar el anillo óptico. Con un alineador más largo, los resultados para volumen mejorarían, pues los frutos atravesarían el anillo óptico sin balanceo. Por contra, las estimaciones de ejes bajo condiciones de orientación aleatoria serán siempre poco fiables aunque el paso de los frutos se produzca sin balanceo, debido a la geometría del sistema.

## 5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Maxfrut, S.L. (Alcira, España) y Argus Electronic GmbH (Rostock, Alemania) por su ayuda. Este trabajo ha sido financiado por la CICYT y la Comunidad de Madrid.

## 6. Referencias

1. F.W. Bakker-Arkema, J. DeBaerdemaeker, P. Amirante, M. Ruiz-Altisent, C.J. Studman (Eds.). *CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume 4*, ASAE, USA, (1999).
2. D. Wulfsohn, H-J G. Gundersen, E.B. Vedel Jensen, J.R. Nyengaard. *Volume estimation from projections. Journal of Microscopy* **215** (2) (2004) 111.
3. H. Gall. *A ring sensor system using a modified polar coordinate system to describe the shape of irregular objects. Meas. Sci. Technol.*, **8** (1997) 1228.
4. J. Ortiz-Cañavate, G. Moreda, I. Homer, S. Morabito, M. Ruiz-Altisent. *Fruit size determination by a new optical sensor. AgEng, 02-PH-035, Budapest, (2002)*.
5. G. Moreda, J. Ortiz-Cañavate, I. Homer, F.J. García-Ramos, M. Ruiz-Altisent. *Determinación en línea del tamaño de la fruta mediante un sensor de anillo óptico. 2º Congreso Nacional de Agroingeniería, AG03 1113, Córdoba, (2003)*.
6. G. Moreda, J. Ortiz-Cañavate, I. Homer, F.J. García-Ramos, M. Ruiz-Altisent. *An on-line optical sensor for sizing peaches, apricots, kiwifruits and tomatoes randomly oriented. AgEng, 26-234, Leuven, (2004)*.
7. J.W. van Eck, G.W.A.M. van der Heijden, G. Polder. *Accurate measurement of size and shape of cucumber fruits with image analysis. J. Agric. Engng Res*, **70** (1998) 335.
8. Reglamento (CE) nº 1673/2004 de la Comisión, de 24 de septiembre, *por el que se establece la norma de comercialización aplicable a los kiwis*, (2004).
9. H. Gall, A. Muir, J. Fleming, R. Pohlmann, L. Göcke, W. Hossack. *A ring sensor system for the determination of volume and axis measurements of irregular objects. Meas. Sci. Technol.* **9** (1998) 1809.



# III CONGRESO <sup>D</sup>

## I AGRO Ingeniería 2005

LEÓN, 21 - 24 de SEPTIEMBRE de 2005

ORGANIZADO POR:



Universidad de León

I AGRO  
Ingeniería

EDITORES:

Pedro J. Aguado  
Andrés Juan  
Julia M. Morán