

OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS QUE AFECTAN AL PORCENTAJE DE DERRIBO DE LOS FRUTOS

Desprendimiento de cítricos mediante vibración con sacudidores experimentales unidireccionales

Es interesante analizar las posibilidades de la recolección mecánica, investigando los parámetros de trabajo más adecuados para desarrollar sistemas comerciales capaces de recolectar incluso fruta destinada al mercado en fresco minimizando el nivel de

daños producidos tanto a la fruta como al propio árbol. En este artículo se muestran los resultados de la utilización de un sacudidor de ramas de laboratorio en el porcentaje de derribo de los frutos en función de su distinta utilización.

A. Torregrosa¹, C. Ortiz¹, B. Martín², J. Blasco³.

¹ Dpto. Ingeniería Rural. Universidad Politécnica de Valencia.

² Universidad Politécnica de Cartagena. Área de Ingeniería Agroforestal.

³ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada (Valencia).

La recolección manual de los frutos cítricos supone un coste muy importante del cultivo, motivo por el cual es muy importante intentar su mecanización. En la actualidad son dos los principales sistemas mecánicos utilizados para el derribo

de los frutos, vibradores de troncos y sacudidores de la vegetación. Los vibradores de troncos normalmente exigen árboles con un tronco alto para producir la vibración sin dañar al árbol. Los sacudidores de copas, varean toda la copa del árbol, produciendo el desprendimiento de la fruta.

En España, los cítricos se cultivan fundamentalmente para el consumo en fresco, al menos los ubicados en la Comunidad Valenciana, aunque en Andalucía hay plantaciones específicas para industria. Cuando la fruta se va a destinar al mercado fresco, debe estar exenta de daños, y en la actualidad el único sistema de recolección que asegura un nivel mínimo de daños es el manual, por lo tanto, los árboles tienen un bajo porte para poder ser recolectados desde el suelo.

No obstante, es interesante analizar las posibilidades de la recolección mecánica, investigando los parámetros de trabajo más adecuados para desarrollar sistemas comerciales capaces de recolectar incluso fruta destinada al mercado en fresco minimizando el nivel de daños producidos tanto a la fruta como al árbol.

Recolección por vibración

Los principales tipos de vibradores que se han probado por el momento en los cítricos españoles han sido vibradores de ramas y de troncos, inicialmente pensados para la reco-



Vibrador de troncos usado para la recolección de cítricos.

lección de aceitunas, así como algún sacudidor de copas americano, que de momento se encuentra con el problema de que su tamaño es excesivo para las dimensiones de las plantaciones españolas.

Los vibradores de aceitunas suelen presentar carreras relativamente cortas, alrededor de los 2 cm los de troncos y de los 4 cm los de ramas, y frecuencias relativamente altas, entre 10-30 Hz.

En ensayos realizados por algunos investigadores españoles con vibradores de troncos (Torregrosa *et al.* 2009, 2010), se han vibrado árboles con altura de cruz muy baja, en torno a los 50 cm o menos, por lo que la pinza del vibrador quedaba rozando el suelo y era imposible aplicar una carrera elevada sin dañar el árbol. En estas condiciones se ha comprobado que con una frecuencia de vibración en torno a los 15 Hz, una carrera de 2-2,5 cm y una o dos vibraciones de unos 3 s cada una, se pueden conseguir unos porcentajes de derribo del 70-80% sin excesivo deshojado. Por debajo de los 15 Hz, el porcentaje de derribo disminuye rápidamente, siendo inferior al 50% cuando se alcanza la zona de los 10 Hz. Por encima de los 15 Hz, puede mejorar ligeramente el porcentaje de derribo, pero a cambio de un excesivo deshojado.

Los vibradores de ramas para recoger aceitunas, suelen disponer de un gancho abierto y de anchura constante para sujetar las ramas, por lo que la carrera efectiva es muy variable y la frecuencia depende de la resistencia que oponga la rama al vibrador, pero suele fluctuar entre los 15-30 Hz. Normalmente estos equipos, no mejoran el porcentaje de derribo de los vibradores de troncos, pues muchas ramas, fundamentalmente las



Foto 2. Vibrador de ramas de gasolina en una rama de naranjo.

Empleando frecuencias relativamente bajas (5-10 Hz) combinadas con carreras relativamente largas (100-180 mm), se puede derribar más del 90% de los frutos cítricos en menos de 3 s de vibración y prácticamente sin deshojado

muy finas y péndulas, se quedan sin vibrar al no poder sujetarlas suficientemente el gancho de la máquina.

Puesto que los ensayos anteriores tropezaban con las limitaciones de frecuencia, y sobre todo de carrera, que imponen las máquinas comerciales, se decidió construir un sacudidor de ramas y/o frutos aislados de laboratorio que permitiese investigar la adecuación de carreras mayores al caso de los cítricos. Posteriormente, se completó el equipo anterior con un diseño accionado por tractor para comprobar en los árboles los efectos analizados en el laboratorio.

Materiales y métodos

El sacudidor de laboratorio consiste en un disco con orificios taladrados a 30, 50, 70 y 90 mm de radio, que permite probar las carreras correspondientes al doble de las cifras anteriores. A este disco se le une una biela conectada en el otro extremo a un patín guiado, de modo que se dispone de un movimiento unidireccional alternativo. Al patín se le atornilla el útil que sujeta a la rama de la que penden los frutos. El disco taladrado está sujeto al eje de un motor eléctrico de corriente alterna cuya velocidad de giro está controlada por un variador de frecuencia. Todos los ensayos se

CUADRO I.

Tiempo medio necesario para el derribo de los frutos aislados con el sacudidor de laboratorio.

Varietal	Carrera (mm)	Frecuencia (ud)	Tiempo (s)	Duración (ciclos)
Valencia	60	18,8	1,66	15,6
Valencia	100	9,4	0,50	4,4
Valencia	60	18,8	0,50	8,6
Navel Lane Late	60	4,6	13,50	62,4
Navel Lane Late	60	9,4	1,20	10,8
Navel Lane Late	60	18,8	0,70	13,4
Navel Lane Late	100	4,6	4,60	21
Navel Lane Late	100	9,4	0,70	6,4
Navel Lane Late	100	18,8	0,20	3,2

FIGURA 1.

Porcentaje de derribo de los frutos en los primeros segundos de vibración de ramas sueltas en función de la variedad y de la frecuencia de vibración

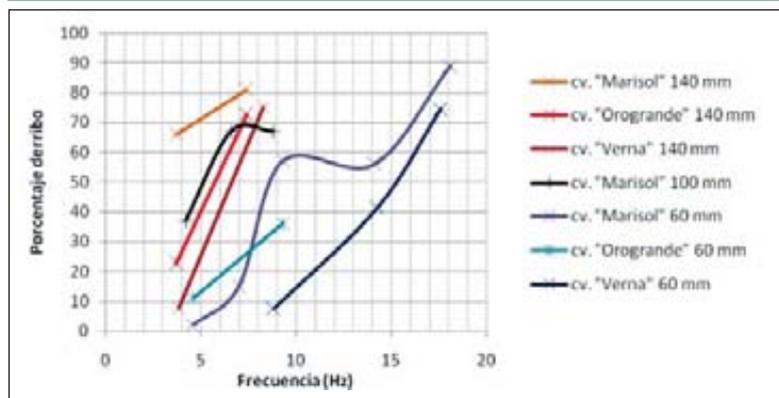
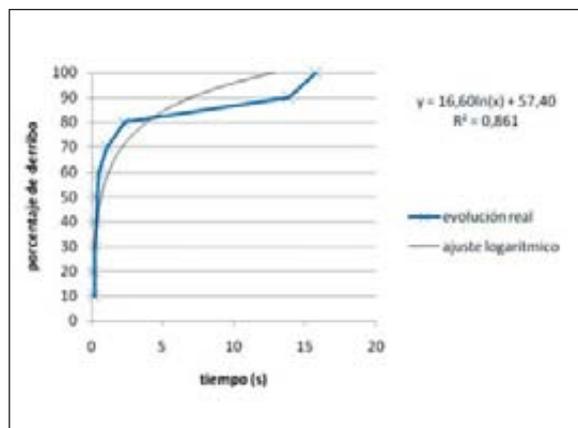


FIGURA 2.

Porcentaje de derribo en función del tiempo de vibración en ramas con 5-10 frutos.



filman con una cámara de alta velocidad que permite grabaciones a 300 fotogramas por segundo para poder observar con detalle los movimientos.

El equipo montado sobre un tractor se basa en el mismo disco del equipo anterior, pero en este caso accionado directamente por la toma de fuerza del tractor. En el caso de la biela, se han probado tanto una cincha textil, con lo que a efectos prácticos se comportaría como un vibrador de cable, donde el sacudidor tira de las ramas y éstas retroceden por su propia elasticidad, como con una biela rígida formada por dos tubos de hierro telescópicos. En este último caso tendríamos de un vibrador unidireccional tipo biela-manivela.

Se han realizado ensayos de derribo con mandarinas, naranjas y limones, y aunque el efecto varietal influye un poco en las capacidades de derribo, normalmente los efectos de la carrera y la frecuencia de vibración están muy por encima de aquéllos.

Porcentaje de derribo

Frutos aislados

Se han ensayado frecuencias en el rango de los 4 a 25 Hz y carreras de 60-180 mm. Tan sólo en

el caso de las combinaciones menos energéticas, 4 Hz y 60 mm, quedaron algunos frutos sin derribar tras 40 s de agitación.

Ramas sueltas

Cuando se agitan ramas sueltas, la vibración no siempre llega a todos los frutos, pues ésta depende de su transmisión a lo largo de la rama y de la ubicación de aquéllos. Los situa-

dos más cerca del punto de agitación caen normalmente antes que los más alejados. Se ha observado que el porcentaje de derribo aumenta tanto con la frecuencia como con la amplitud de la vibración. Para obtener un porcentaje de derribo elevado es equivalente usar una carrera larga (140 mm) y una frecuencia baja (6 Hz) que una carrera corta (60 mm) y una frecuencia alta (14 Hz). Las variedades que presentan mayor fuerza de tracción necesitan mayor frecuencia o mayor carrera para obtener igual porcentaje de desprendimiento que las que presentan menor fuerza de tracción. Los porcentajes de derribo observados en los primeros segundos de vibración, que es cuando cae la fruta de forma rápida, se pueden apreciar en la **figura 1**.

Sacudidor de tractor

Cuando se utilizó el sacudidor de biela-manivela acoplado al tractor, se obtuvieron unos porcentajes de derribo para el árbol completo bastante uniformes y del orden del 90%.

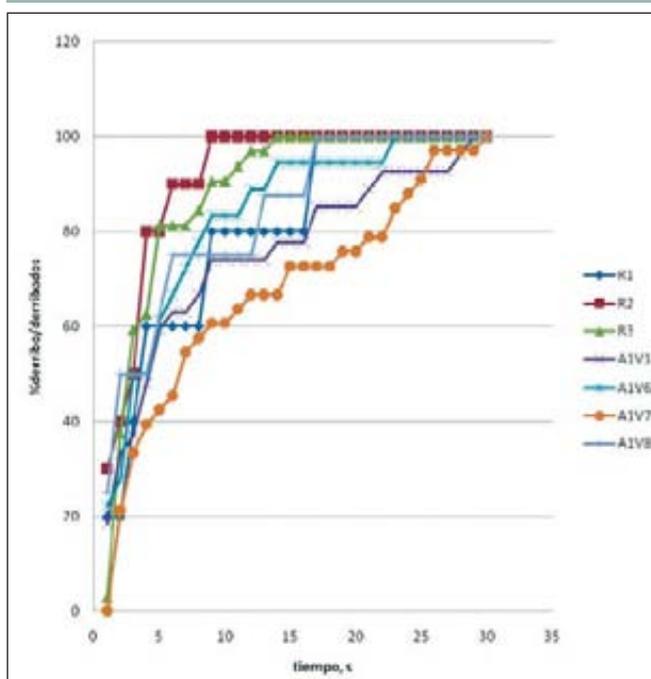
Tiempo necesario para el desprendimiento

Frutos aislados

El tiempo necesario para el desprendimiento fue tanto menor cuan-

FIGURA 3.

Porcentaje de derribo con un sacudidor de ramas acoplado al tractor en función del tiempo de exposición.





Sacudidor de laboratorio con fruto aislado utilizado en los ensayos.



Sacudidor unidireccional de tractor.

to más enérgica fue la agitación aplicada. En el **cuadro 1** podemos apreciar para dos variedades de naranjas que con la excepción de la combinación 60 mm de carrera y frecuencia 4,6 Hz, en la que el tiempo medio fue de 13,5 s o superior –puesto que algunos frutos no cayeron–, y en la de 100 mm y 4,6 Hz, en que fueron necesarios 4,6 s, en los demás casos, el tiempo necesario para el desprendimiento estuvo siempre por debajo de los 2 s.

Ramas con 5-10 frutos

En esta situación no todos los frutos cayeron a la vez. Se ha podido observar que el ritmo de derribo sigue una curva logarítmica en la que hay una primera fase de corta duración, de unos 2-3 s, donde cae la mayor parte de la fruta, para luego volverse casi plana y tener lugar la caída de muy pocos frutos separados en el tiempo (**figura 2**).

En la primera zona, el porcentaje de derribo alcanzado depende sobre todo de la frecuencia y de la carrera, mientras que en la zona de desprendimiento lento el porcentaje de derribo depende menos de los parámetros anteriores, teniendo la curva una pendiente media del 3,5%, es decir, por cada segundo más de vibración, se consigue un 3,5% más de derribo hasta llegar a la saturación.

Sacudidor de tractor

Los ensayos con ramas realizados con el sacudidor acoplado al tractor se han limitado a las frecuencias más bajas (3-5 Hz) y las carreras más largas (100-180 mm). Al contabilizar los porcentajes de derribo de la rama directa-

mente agitada, se ha podido observar que éstos casi siempre han superado el 90%. Así mismo, al analizar los vídeos de la caída de fruta, se ha apreciado que la fruta cae más lentamente que con los vibradores de alta frecuencia, siendo necesarios unos 10 s para alcanzar un alto porcentaje de derribo, a partir de los cuales caen ya pocos frutos (**figura 3**).

Daños causados al árbol con el sacudidor de ramas

El sacudidor de ramas acoplado a tractor, al trabajar a baja frecuencia (menos de 5 Hz) produjo unos deshojados mínimos, aunque debido a la elevada carrera (180 mm) algunas ramas se desgarraron, sobre todo cuando se sujetó el sacudidor cerca de la base de la rama agitada.

Conclusiones

De los ensayos llevados a cabo en laboratorio y con el sacudidor experimental de árboles, se puede concluir que empleando frecuencias relativamente bajas (5-10 Hz) combinadas con carreras relativamente largas (100-180 mm), se puede derribar más del 90% de los frutos cítricos en menos de 3 s de vibración y prácticamente sin deshojado. Ahora bien, dado el tronco tan corto que tienen los árboles cultivados en España, estas carreras tan largas sólo se pueden conseguir sacudiendo las ramas, lo cual implica aplicar la vibración cada vez a unas 7-10 ramas/árbol, lo que reduce significativamente la capacidad de trabajo. Por ello es importante seguir investigando

en el desarrollo de un vibrador suficientemente rápido para realizar la maniobra de agarre de las mismas y capaz de abarcar más cantidad de ramas. En la actualidad las máquinas comerciales que más se aproximan a este reto son los sacudidores de copas, que trabajan con elevadas carreras y bajas frecuencias, pero que no sujetan las ramas sino que sacuden toda la vegetación del árbol. ●

Agradecimientos

Estos trabajos han sido parcialmente financiados por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) a través del proyecto "Desarrollo de nuevas tecnologías para la recolección mecanizada y la preselección automática de cítricos, y su integración en un sistema de agricultura de precisión" (Subproyectos RTA2009-00118-C02-01 y RTA2009-00118-C02-02) y con fondos FEDER.

Bibliografía ▼

C. Ortiz, P. Escuin, Blasco J., Cuenca, A., A. Torregrosa. Estudio de parámetros que afectan al desprendimiento de mandarinas y limones mediante la vibración de ramas. VI Congreso Ibérico de Agroingeniería. 5-7 Septiembre 2011. Évora- Portugal. 8 pp.

A. Torregrosa, E. Ortí, B. Martín, J. Gil, C. Ortiz. 2009. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain. Biosystems Engineering 104 (2009) 18-24.

A. Torregrosa, R. Moreno, P. Chueca, E. Moltó, C. Ortiz. Recolección de mandarinas cv. Orogrande con un vibrador de troncos: efectos de la frecuencia de vibración y de las superficies de recogida. V Congreso Ibérico de Agroingeniería. 28-30 Septiembre 2009. Lugo- España. 7 pp.

A. Torregrosa, I. Porras, B. Martín. 2010. Mechanical harvesting of lemons (cv. Fino) in Spain using abscission agents. Transactions of the ASABE Vol. 53(3): 703-708.