

Estudio del aclareo mecánico de mandarinos mediante un dispositivo de vibrado en laboratorio

Autor: Elena Soto Ruiz de la Torre
Tutor: Coral Ortiz
Co-tutor: Antonio Torregrosa

Universitat Politècnica de València
ETSIAMN
Máster en Ingeniería Agronómica.
Curso académico 2017-2018
Convocatoria 2ª Diciembre 2017 (2231)



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

RESUMEN

El aclareo consiste en la eliminación de flores y/o frutos de los árboles frutales con el fin de obtener fruta de mayor tamaño. Es una labor que se practica habitualmente en algunas variedades de mandarinos y se lleva a cabo de forma manual, suponiendo un incremento considerable de los costes de cultivo.

En este trabajo se ha realizado un estudio de laboratorio sobre el aclareo mecánico, mediante un dispositivo de vibrado de ramas con el objetivo de estudiar los porcentajes de derribo obtenidos con diferentes combinaciones de carrera y frecuencias a lo largo de diversos estados fenológicos de mandarinos de la variedad 'Clemenrubí'.

Para ello durante 11 semanas consecutivas se seleccionaron, cada semana, alrededor de 25 ramas que se vibraron en laboratorio con diferentes combinaciones de frecuencias (entre 34 y 37 Hz) y carreras (15 o 30 mm). Se recogieron datos de porcentaje de derribo, masa de los frutos o flores, calibre y fuerza de tracción necesaria para desprenderlos. Este estudio se inició en el estadio 56 (botón blanco) de la escala BBCH y finalizó en el 72 (fruto verde) con frutos de calibre entre 30 y 35 mm. El vibrado de las ramas se grabó con una cámara de alta velocidad a 300 fotogramas por segundo.

Los resultados obtenidos muestran que es posible desprender botones florales, flores o frutos con diferentes combinaciones de carreras (de 30 o 15 mm) y frecuencias (entre 34 y 37 Hz), bajo las condiciones de laboratorio ensayadas.

El porcentaje de derribo es significativamente mayor para la carrera de 30 mm frente a la de 15 mm, consiguiéndose con la carrera más alta un derribo medio mayor del 30 % de unidades. De la misma manera la frecuencia más alta (37 Hz) produjo un desprendimiento significativamente mayor que la frecuencia menor (34 Hz).

El porcentaje de desprendimiento para las distintas combinaciones de frecuencia y carrera varió de forma significativa según las semanas. Para los estados fenológicos de botón floral y flores los porcentajes de derribo fueron bajos, a continuación el derribo se incrementa en los primeros estados del engrosamiento del fruto (coincidiendo con el inicio del aclareo natural (cuando la fuerza de tracción es todavía baja) y para los estados de frutos engrosados vuelven a disminuir, conforme la fuerza de tracción se incrementa.

Se ha confirmado una relación inversa entre la evolución del porcentaje de derribo y la fuerza de retención de botones florales, flores y frutos.

Palabras clave:

Aclareo, mandarina, vibración

SUMMARY

Fruit thinning is defined as the selective removal of flowers and/or fruits from trees in order to improve the size of the remaining crop. This technique is usually performed manually rendering to a noteworthy increase of the costs.

For this research project, we set out to study a mechanical thinning system by means of a branch-vibrating device. In particular, we focused on the differences in total removed fruits using different combinations of strokes and frequencies in various phenological stages of mandarins 'Clemenrubí'.

In order to do so, about 25 branches were selected per week during 11 consecutive weeks, and were vibrated in the laboratory with different combinations of frequencies (between 34 and 37 Hz) and strokes (15 or 30 mm). We measured the percentage of fruit removal, the mass of the obtained fruits/flowers, and the gauge and traction force needed in each case. This study included branches from stage 56 (white bud) of the BBCH-identification system up to stage 72 (green fruit), with fruits sized between 30 and 35 mm. The vibration of the branches was recorded with a high-speed camera at 300 frames per second.

The obtained results showed that flower buds, clusters of flowers or fruits could be removed by using different combinations of strokes (of 30 or 15 mm) and frequencies (between 34 and 37 Hz), under the tested laboratory conditions.

Importantly, the percentage of removed fruits was significantly higher using a stroke of 30mm compared to 15mm, namely a 30 % increased rate of removal was reached by operating the highest stroke. Similarly, the highest frequency (37 Hz) produced a significantly higher detachment than the lower one (34 Hz).

Strikingly, the fruit-removal performed by using different combinations of frequency and stroke, evolved significantly over time. At phenological stages of floral buds and flowers, the removal yield was low. It increased notably during the first stages of the thickening of the fruit, coinciding with the beginning of natural thinning (when the tracking force is still low). Finally, during states of thickened fruits, the removal-success decreased again as the traction force from the tree increased.

Taken together, these results confirm an inverse correlation between fruit removal and the holding force of flower buds, flowers and fruits.

Key words:

Thinning, mandarin, vibration

RESUM

L'aclarida consisteix en l'eliminació de flors y/o fruits dels arbres fruiters a fi d'obtindre fruita més gran. És una labor que habitualment en algunes varietats de mandariners i es du a terme de forma manual, suposant un increment considerable dels costos de cultiu.

En este treball s'ha dut a terme un estudi de laboratori sobre l'aclarida mecànica, per mitjà d'un dispositiu de vibrat de branques amb l'objectiu d'estudiar els percentatges de despreniment obtinguts amb diferents combinacions de carrera i freqüències al llarg dels estats fenològics de la mandarina varietat 'Clemenrubí'.

Per a això durant 11 setmanes consecutives es van seleccionar cada setmana al voltant de 25 branques que es van vibrar en laboratori a diferents combinacions de freqüències (entre 34 i 37 Hz) i carreres (15 o 30 mm) . Es van arrebregar dades de percentatge de despreniment, massa dels fruits o flors, calibre i força de tracció necessària per a desprendre'ls. Este estudi es va iniciar en l'estadi 56 (botó blanc) de l'escala BBCH i va finalitzar en el 72 (fruit verd) amb fruits de calibre entre 30 i 35 mm. El vibrat de les branques es va gravar amb una cambra d'alta velocitat a 300 fotogrames per segon.

Els resultats obtinguts mostren que és possible desprendre botons florals, flors o fruits amb diferents combinacions de carreres (de 30 o 15 mm) i freqüències (entre 34 i 37 Hz) , davall les condicions de laboratori assajades.

El percentatge de despreniment és significativament major per a la carrera de 30 mm enfront de la de 15 mm, aconseguint-se amb la carrera més alta un derrocament mitjà major del 30 %. De la mateixa manera la freqüència més alta (37 Hz) va produir un despreniment significativament major que la freqüència menor (34 Hz).

El percentatge de despreniment per a les distintes combinacions de freqüència i carrera va variar de forma significativa segons les setmanes. Per als estats fenològics de botó floral i flors els percentatges de derrocament van ser baixos, a continuació el derrocament s'incrementa en els primers estats de l'engrossiment del fruit (coincidint amb l'inici de l'aclarida natural (quan la força de tracció és encara baixa) i per als estats de fruits engrossida tornen a disminuir, conforme la força de tracció s'incrementa.

S'ha confirmat una relació inversa entre l'evolució del percentatge de derrocament i la força de retenció de botons florals, flors i fruits.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a INIA y a los fondos FEDER la financiación de este trabajo (Proyecto RTA2014-00025-C05-02).

Me gustaría agradecerles a Coral Ortiz y Antonio Torregrosa su paciencia y dedicación.

Gracias también a mi familia y amigos.

GRACIAS.

Índice

1.	Introducción	1
1.1.	Importancia económica de los cítricos en la Comunidad Valenciana	1
1.2.	Desarrollo fisiológico de los frutos cítricos	1
1.3.	Aclareo de frutales	2
1.3.1.	Conceptos sobre aclareo	2
1.3.2.	Aclareo químico de frutos	2
1.3.3.	Aclareo mecánico de frutos	2
1.4.	Aclareo en cítricos	3
1.4.1.	Costes de las operaciones de aclareo en el cultivo de cítricos	3
2.	Objetivos	4
3.	Materiales y métodos	5
3.1	Materiales	5
3.1.1.	Material vegetal	5
3.1.2.	Material de laboratorio	5
3.1.3.	Software	8
3.2	Metodología	9
3.2.1.	Metodología de los ensayos de calibrado de la vibración	9
3.2.2.	Registro de datos	9
3.2.3.	Metodología del ensayo de aclareo	10
3.2.4.	Metodología de los ensayos de tracción	12
3.2.5.	Detalle de los ensayos realizados	12
4.	Resultados	14
4.1.	Resultados del ensayo de aclareo de flores y frutos	14
4.1.1.	Evolución de los parámetros descriptivos en el tiempo	15
4.1.2.	Evolución del calibre, la masa y la fuerza de tracción en el tiempo	16
4.2.	Influencia de la carrera, la frecuencia y la semana	17
4.2.1.	Efecto de la frecuencia	17
4.2.1.	Influencia de la carrera	18
4.2.2.	Influencia de la semana	18
4.3.	Daños	20
4.4.	Punto de abscisión	21
5.	Conclusiones	22
6.	Propuestas para trabajos futuros	23
7.	Bibliografía	24

Índice de tablas:

Tabla 1. Ejemplo de tabla de recogida de datos durante los ensayos. Siendo "FREC" la frecuencia utilizada, "INICIO" el número inicial de botones florales, flores o frutos, "FINAL" el número de botones florales, flores o frutos después del ensayo y "TAMAÑO" el tamaño de la rama vibrada.....	10
Tabla 2. Tabla resumen de los ensayos llevados a cabo.	11
Tabla 3. Tabla explicativa de los ensayos llevados a cabo durante las semanas (Sem) 0 y 1.....	13
Tabla 4. Tabla resumen de las medias de pesos medios (g), calibre medio (mm), fuerza de tracción media (FT, N) y el estadío para cada semana y ensayo.....	14
Tabla 5. Resultados del análisis de varianza entre los factores Carrera, semana y frecuencia para el porcentaje de derribo.....	17
Tabla 6: Regresión simple del porcentaje de desprendimiento respecto a la fuerza de tracción.	20

Índice de figuras:

Figura 1: Esquema del material de laboratorio utilizado para los ensayos de vibración.....	5
Figura 2. Dispositivo de vibrado mecánico. A: Disco con orificios simulando las diferentes carreras. B: Sistema de sujeción de la rama	6
Figura 3. Gráfica del registro de movimiento obtenido con Picoscope. $50 \text{ mV} = 1 \text{ m.s}^{-1}$	6
Figura 4: Dinamómetro digital Andilog Centor (www.andilog.com)	7
Figura 5. A: Ejemplo de ensayo de tracción con pinza pequeña. B: Detalle de pinza de agarre de frutos pequeños utilizada para los ensayos de tracción	7
Figura 6. Pinza de agarre de frutos grandes utilizada para los ensayos de tracción. A: Detalle del agujero de agarre. B: Detalle de la pinza	8
Figura 7. Pie de rey "Koke" utilizado para medir los calibres de los frutos y flores.....	8
Figura 8. Ejemplo de imagen tomada previa al ensayo junto con pizarra explicativa.	9
Figura 9. Calendario de realización de ensayos.	10
Figura 10. Evolución fenológica a lo largo de las semanas, desde la 2 hasta la 10.	15
Figura 11: Evolución del calibre (mm), la masa (g) y la fuerza de tracción (FT, N) en el tiempo.	16
Figura 12: Porcentaje total de derribo (%total) con respecto a la frecuencia utilizada.	17
Figura 13: Evolución del porcentaje de derribo para la carrera de 30 mm (% de 30), para la carrera de 15 mm (% de 15) y para la media total (% tot) comparado con la evolución de la fuerza de tracción (FT) y los estadíos.	18
Figura 14: Cantidad de frutos por rama en función de las semanas.	19
Figura 16: Relación entre el porcentaje de derribo y la fuerza de tracción	20

1. Introducción

1.1. Importancia económica de los cítricos en la Comunidad Valenciana

De acuerdo con el anuario de la FAO (2015), España es el principal exportador de cítricos del mundo. Produce más de 5 millones de toneladas al año, lo que le posiciona como el quinto líder a nivel mundial. En lo que respecta a la Comunidad Valenciana se producen anualmente más de 3 millones de toneladas, representando un 60% de la producción total española. La Comunidad Valenciana es pues la principal región citrícola a nivel nacional tanto en producción como en superficie destinada a la misma.

En términos económicos, de acuerdo con las cifras publicadas anualmente por MAPAMA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca), en 2015 la Comunidad Valenciana tuvo unos ingresos superiores a 2 millones de euros por la producción y comercialización de cítricos lo que supote un 9% del total de la producción vegetal.

1.2. Desarrollo fisiológico de los frutos cítricos

El calibre final de los frutos en cítricos se ve influenciado en gran medida por la competencia entre órganos (Mesejo *et al.*, 2003). Cuanto mayor es el número de frutos o flores, mayor será la competencia entre ellos, lo que conllevará a una limitación de las posibilidades de crecimiento y en consecuencia se verá afectado su tamaño final. Según indican Agustí y Almela (1991), el desarrollo de un fruto cítrico se debe a la acumulación de metabolitos, la cual depende tanto de la capacidad que tenga el fruto para acumularlos como de la disponibilidad de metabolitos de la planta.

El desarrollo del fruto está dividido en 3 fases. La etapa inicial, caracterizada por un crecimiento exponencial causado por la división celular, abarca desde la antesis hasta la finalización de la caída fisiológica de los frutos. En esta etapa, el crecimiento es mayormente debido al desarrollo de la corteza. En la segunda etapa, que comprende desde el final de la etapa anterior hasta el cambio de color, ya ha cesado la división celular en casi todos los tejidos y las células comienzan a expandirse. El aumento del tamaño en esta etapa es debido principalmente al desarrollo de los lóculos y las vesículas de zumo. Finalmente, la tercera y última etapa (o periodo de maduración), está caracterizada por una reducida tasa de crecimiento (Agustí, 2003).

Para poder clasificar el desarrollo de los frutos a lo largo del tiempo se va a utilizar la clasificación mediante la escala BBCH, un sistema decimal de dos dígitos, que codifica los estadios fenológicos de las plantas mono y dicotiledóneas y que puede consultarse en el anejo 3 (Agustí *et al.*, 1995).

Conforme el fruto se desarrolla, la región del pedúnculo-receptáculo aumenta de diámetro y adquiere consistencia leñosa. El extremo más acrópeto del pedúnculo termina en una especie de cúpula y justo por encima de ella es donde se encuentra la capa de abscisión (Agustí, 2003).

1.3. Aclareo de frutales

1.3.1. Conceptos sobre aclareo

El aclareo consiste en la eliminación de flores y/o frutos de los árboles frutales con el fin de obtener fruta de mayor tamaño. El aclareo en flor tiene ciertas ventajas a nivel nutricional puesto que todos esos nutrientes que hubiesen ido a las flores eliminadas son redirigidos y utilizados por otras partes del árbol. Este tipo de aclareo se suele llevar a cabo en frutales de hueso. Cabe destacar que en cítricos no es una operación eficaz puesto que a la hora de llevar a cabo el aclareo se debe tener en cuenta la ‘esporga’ en la que se van a perder de forma natural parte de las flores. Hasta que no se produce el cuajado completo no se sabe qué cantidad de frutos van a quedar en el árbol. Es por esta razón por la que, en cítricos, no se debe llevar a cabo el aclareo antes del cuajado.

Los principales tipos de aclareo son, el aclareo manual, el químico y el mecánico. El manual es el método más antiguo y a la vez el más utilizado dada su precisión, pero puede suponer unos costes elevados.

1.3.2. Aclareo químico de frutos

El aclareo químico consiste en la aplicación de ciertas materias activas, que incrementan la producción de etileno en los días siguientes a su aplicación provocando la abscisión de parte de los frutos.

Para el aclareo químico de flores en frutales de hueso, los productos más comunes son el ethephon, tiosulfato amónico (ATS), aceite y polisulfuro de calcio. En cuanto al aclareo de frutos son el ácido aftalenacético (NAA), y cytokinin 6-benzyladenine (6-BA) (Ilie, 2016). En el caso del melocotonero, como alternativa al elevado coste del aclareo manual se utiliza el aclareo químico mediante aplicación de giberelinas (GA3) en verano, inhibiendo la inducción floral, si bien los resultados son muy dependientes de la época, de la parcela y de la variedad utilizada (González-Rossia *et al.*, 2007; Pascual *et al.*, 2009). En cuanto a los cítricos, el aclareo se debe realizar en la primera fase de desarrollo del fruto, los principales métodos utilizados son la aplicación de ácido naftalenacético, ácido 2-cloroetilfosfónico o ácido 3,5,6-tricloro-2piriloxiacético. También se puede realizar mediante una reducción de la floración al aplicar ácido giberélico al principio de la floración (Agustí, 2003).

La eficacia del aclareo químico se ve influenciada por diversos factores entre los que se encuentran los ambientales (Martin *et al.*, 2010). Sin embargo, muchos agroquímicos están siendo rechazados por el comercio (Ouma, 2012) de modo que las crecientes limitaciones emergentes en cuanto al uso de químicos en la agricultura hacen cada vez más atractivas las técnicas de aclareo mecánico (Ortiz *et al.*, 2017).

1.3.3. Aclareo mecánico de frutos

El aclareo mecánico es utilizado en cierta medida en cultivos como el peral, manzano, ciruelo o melocotonero, sin embargo no lo es en cítricos. En cuanto al aclareo mecánico de flores, en la última década se ha estado probando en melocotones.

Algunos métodos ensayados a lo largo de los años son el aclareo mecánico en melocotón mediante el vibrado de troncos (Berlage and Langmo, 1982; Powell *et al.*, 1975) que, aunque

consiguieron reducir el número de frutos, la experiencia ha demostrado que no es una técnica factible; otros autores como Diezma y Rosa (2005) o Glozer y Hasey (2006) utilizaron vibradores manuales electrodinámicos de baja frecuencia y demostraron que mediante este método se desprendía más del 50 % de frutos, pero se trató de ensayos experimentales cuyas conclusiones no se han llegado a consolidar en la práctica; también se han utilizado como técnicas la aplicación de agua a presión (Byers, 1990) sin resultados prácticos y sistemas rotativos de hilos (Roche y Masseron, 2002; Martín *et al.*, 2012) que son los que actualmente mejor funcionan en el aclareo de flores.

Existen algunos equipos comerciales como el aclareador Darwin (<http://fruit-tec.com>) basado en los desarrollos de Demarow *et al.* (2007) para aclareo de flores que, mediante un sistema de hilos rotativos accionados por un tractor desprende las flores. Está diseñado para cultivos en espaldera y aunque se ha tratado de adaptarlo a cultivos en vaso no se ha alcanzado aún un sistema eficaz.

Dentro de los equipos manuales se encuentran los peines para el derribo de olivas, que aplicados al aclareo de frutitos de melocotón, consiguen multiplicar por tres la capacidad de trabajo, sin embargo hoy en día estos métodos aún no están del todo aceptados (Martín *et al.*, 2010).

1.4. Aclareo en cítricos

Un factor de gran importancia en la determinación del tamaño final alcanzado por los frutos cítricos es la competencia entre órganos en desarrollo. Cuanto mayor es el número de frutos, mayor será la competencia por elementos minerales o fotosintéticos y menores serán sus posibilidades de crecimiento y, por consiguiente, menor será su tamaño. En definitiva, el tamaño del fruto está inversamente relacionado con el número de frutos y de flores (Agustí *et al.*, 2003). Por ello, es interesante en cítricos la realización de esta labor de cultivo.

La variedad ‘Clemenrubí’ se caracteriza por tener un aclareo natural (“porga”) muy reducido (información personal de agricultores o técnicos) por lo que es muy complicado conseguir buenos calibres. Es por ello por lo que se considera que en estos casos es de gran relevancia el uso del aclareo (Torregrosa *et al.*, 2017).

Como se ha visto en los apartados anteriores existen diversas técnicas para llevarlo a cabo; la primera y la más tradicional consiste en el aclareo manual, sin embargo supone unos costes de mano de obra muy elevados. La segunda es el aclareo químico que, aunque se han desarrollado varias alternativas, ninguna de ellas ha sido hasta ahora viable. Finalmente queda el aclareo mecánico, una actividad hasta ahora no desarrollada en este cultivo y que, aparentemente, surge la necesidad de explorar su viabilidad.

1.4.1. Costes de las operaciones de aclareo en el cultivo de cítricos

El aclareo es una de las operaciones imprescindibles a realizar en algunas variedades de cítricos (‘Clemenrubí’, ‘Orri’,...) para conseguir un calibre de fruta admisible por el mercado. Es una operación que consume bastante mano de obra, siendo habituales valores del orden de 12 minutos por árbol y más. Este gasto se podría abaratar mediante procedimientos mecánicos. Se han llevado a cabo ensayos con vibradores de ramas en los que se ha observado que con 1.5 minutos se puede aclarar mecánicamente un árbol, pero aún falta por comprobar los efectos sobre la producción y el tamaño de los frutos (Torregrosa *et al.*, 2017).

2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es estudiar el aclareo mecánico de mandarinos con un vibrador de laboratorio tipo biela-manivela a lo largo de los diferentes estados fenológicos del cultivo.

Para ello se va a estudiar la evolución en el tiempo de sus características físicas (masa, calibre y fuerza de tracción) así como la relación entre todos estos factores.

Por otro lado se va a analizar la influencia de las diferentes carreras y frecuencias en el porcentaje de derribo relacionándolo a su vez con el estado fenológico y sus características físicas.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

3.1.1. Material vegetal

Los cítricos utilizados han sido clementinas de la variedad ‘Clemenrubí’ de una plantación comercial en buen estado situada en la localidad del Racó de Gaussa (Sagunt).

Para realizar los ensayos en laboratorio se han recogido ramas de aproximadamente el mismo tamaño durante 11 semanas consecutivas (entre el 10 de Marzo y el 26 de Abril). De esta forma se ha conseguido analizar el desprendimiento a lo largo de toda la evolución del estadio de las flores y frutos.

3.1.2. Material de laboratorio

En el siguiente esquema se puede ver representado un croquis explicativo del material utilizado a la hora de llevar a cabo los ensayos.

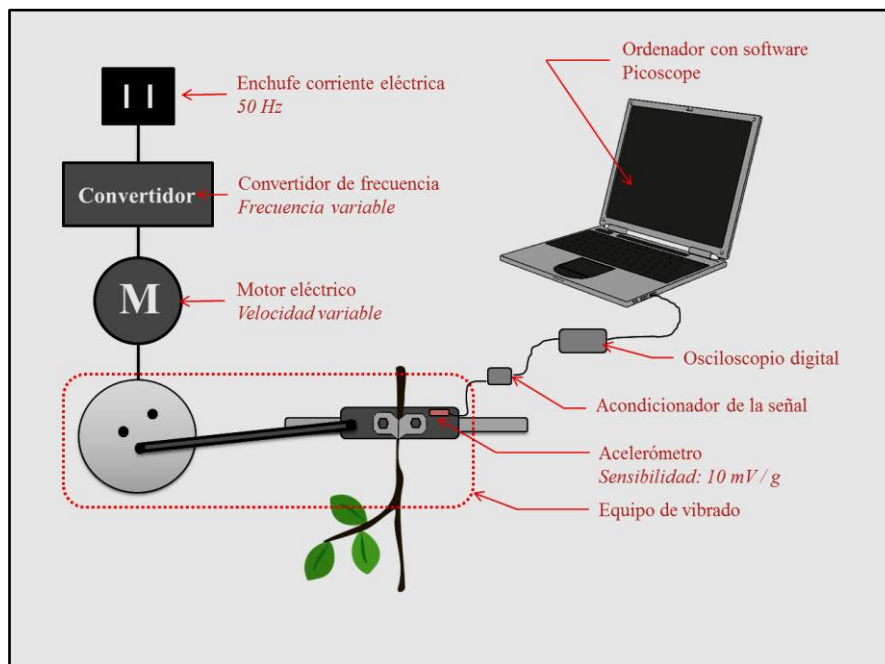


Figura 1: Esquema del material de laboratorio utilizado para los ensayos de vibración

➤ Acondicionamiento de la frecuencia:

- Convertidor de frecuencia: Conectado a la red eléctrica se ha colocado un convertidor de marca Siemens y modelo MICROMASTER 420 (w3.siemens.com) que permite actuar sobre la frecuencia de la corriente alterna (recibida a 50 Hz) y modificarla para poder transmitirla a la frecuencia deseada.
- Motor eléctrico: A continuación se ha instalado un motor eléctrico mediante el cual, en función de la frecuencia recibida por el convertidor, se transmite una velocidad variable. Se trata de un motor monofásico de 0.75 kW de potencia de la marca ABB, modelo M1001 (news.abb.com).

- **Dispositivo de vibrado mecánico:** Se ha utilizado un sistema biela manivela mediante el cual se transforma el movimiento rotatorio del motor eléctrico en un movimiento lineal, representado en la figura 2.



Figura 2. Dispositivo de vibrado mecánico. A: Disco con orificios simulando las diferentes carreras. B: Sistema de sujeción de la rama

Para obtener las diferentes carreras (15, 30, 80 y 120 mm) se ancla la biela al disco mediante orificios creados a diferentes distancias al centro del disco. Las ramas se sujetan al brazo vibrador mediante un sistema de bridas y se colocan las ramas colgando hacia abajo (figura 8) de forma que la caída de los frutos o flores sea más visible.

- **Equipos de acelerometría:**

- **Acelerómetro:** A continuación, con el fin de caracterizar la vibración se ha colocado un acelerómetro en el soporte de la rama. El dispositivo utilizado fue un *Kistler 8763A500*. Rango de aceleración ± 500 G con límite de aceleración ± 1000 G.
- **Acondicionador de la señal:** Se ha utilizado un acondicionador marca *Dytran instruments*, modelo *4130C current source* de tres canales, alimentado por dos pilas de 9 V (6LR6) en corriente continua.
- **Osciloscopio digital:** Marca *Picoscope*, modelo *3424* de cuatro entradas y una salida mediante una conexión USB. Admite un voltaje máximo de 20 V.
- **Software:** El software es *Picoscope* (Pico Technology limited, www.picotech.com), un osciloscopio digital que permite almacenar los datos de vibración obtenidos
- **Cámara de fotos:** La cámara utilizada en los ensayos es una cámara de vídeo a color de alta velocidad *Casio EXF1* (www.exililm.com) con capacidad de grabar a 300

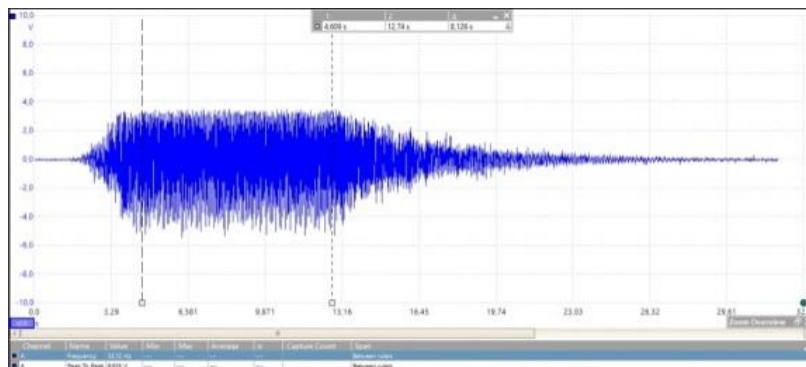


Figura 3. Gráfica del registro de movimiento obtenido con Picoscope. 50 mV = 1 m.s⁻¹

fotogramas por segundo con una resolución de 521 x 384 pixels.

➤ **Equipos de medición de datos**

- **Balanza:** Para la medida de la masa tanto de flores como frutos se ha utilizado una balanza con una precisión de 0,001 g.
- **Maquina universal de ensayos Ibertest:** Para realizar la medida de fuerza de tracción(o fuerza de retención, ver 3.2.1), se ha usado una máquina universal de ensayos Ibertest (Ibertest, www.ibertestint.com) a la que se le ha acoplado un dinamómetro digital (Andilog Centor, www.andilog.com) con las siguientes características:
 - Precisión 0,1%
 - Frecuencia de muestreo 1.000 Hz
 - Resolución 0,1 N
 - Velocidad de bajada del vástago 0,001 m/s



Figura 4: Dinamómetro digital Andilog Centor
(www.andilog.com)

Como agarre para la flor o fruto se usaron los dos sistemas mostrados a continuación. Por un lado una pinza con una concavidad que facilitaba no dañar el pedúnculo a estirar (figura 5).

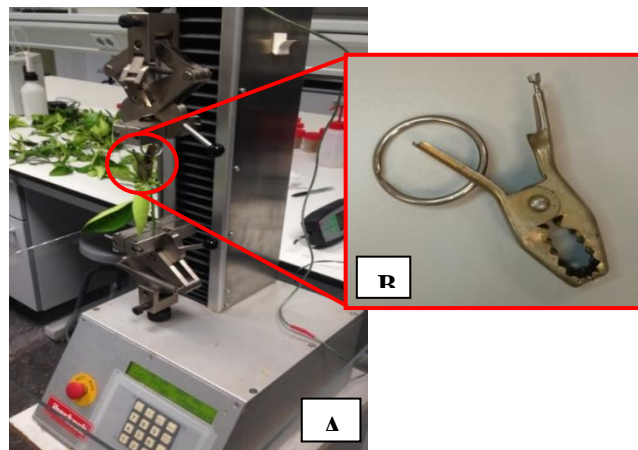


Figura 5. A: Ejemplo de ensayo de tracción con pinza pequeña. B: Detalle de pinza de agarre de frutos pequeños utilizada para los ensayos de tracción

En la Figura 6 se muestra el sistema utilizado con frutos un poco más grandes para los que la envergadura máxima de la pinza no era lo suficientemente grande como para no dañar el fruto. Se trata de un cilindro en el que se ha realizado un pequeño orificio para introducir el fruto.



Figura 6. Pinza de agarre de frutos grandes utilizada para los ensayos de tracción. A: Detalle del agujero de agarre. B: Detalle de la pinza

Pie de rey: Para medir el calibre de flores y (precisión 0,02 mm).



Figura 7. Pie de rey "Koke" utilizado para medir los calibres de los frutos y flores.

3.1.3. Software

Los paquetes de software utilizados han sido:

- Microsoft Office Professional Plus 2010. Word y Excel.
- Statgraphics centurión XV Versión 15.2.05
- PicoScope® 6, versión: 6.12.7.2687. Pico Technology Ltd.

3.2 Metodología

3.2.1. Metodología de los ensayos de calibrado de la vibración

Con el fin de evaluar las frecuencias reales a las que se estaba sometiendo a las ramas se han realizado dos tipos de medidas secundarias que nos permiten calibrar el equipo de vibrado.

Por un lado, por medio del acelerómetro y del osciloscopio digital se puede caracterizar la vibración y por lo tanto las frecuencias reales en cada ensayo. Cabe que destacar que se ha aplicado un filtro paso bajo de 70 Hz a los resultados obtenidos para eliminar el posible ruido.

Por otro lado, se ha utilizado un segundo método de medición de la frecuencia a través de los vídeos realizados gracias a la cámara de alta velocidad, midiendo el tiempo necesario por el dispositivo para realizar un giro completo del disco.

3.2.2. Registro de datos

Se ha intentado que todos los datos tomados en los ensayos sean comprobables y recuperables si fuese necesario. Por ello, durante los ensayos se han llevado a cabo los siguientes registros:

- Fotografías del antes y el después de la rama en la que se incluía una pizarra en la que figuraba:
 - Semana de ensayo
 - Número de rama del día
 - Frecuencia.
 - Carrera

Tal y como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Ejemplo de imagen tomada previa al ensayo junto con pizarra explicativa.

- Fotografía de la rama junto con una regleta de forma que se pudiese leer el tamaño
- Vídeo de la vibración
- Registro de la vibración en Picoscope en el que se podía leer: frecuencia, periodo, pico a pico, duración de la zona estable, duración total...
- Anotación en libro de campo de:
 - Número de rama
 - Carrera

- Frecuencia
- Tamaño de rama
- Flores/frutos iniciales
- Flores/frutos finales
- Número de ensayo

Tabla 1. Ejemplo de tabla de recogida de datos durante los ensayos. Siendo "FREC" la frecuencia utilizada, "INICIO" el número inicial de botones florales, flores o frutos, "FINAL" el número de botones florales, flores o frutos después del ensayo y "TAMAÑO" el tamaño de la rama vibrada.

Semana 8

ENSAYO	RAMA	FREC	CARRERA	INICIO	FINAL	TAMAÑO
1	1	70	15	5	2	31
2	2	70	15	8	3	26
3	3	70	15	6	2	22
4	4	70	15	6	1	25
5	5	70	15	5	1	28
...

3.2.3. Metodología del ensayo de aclareo

Semanalmente, tal y como se puede ver en el calendario de ensayos, a primera hora de la mañana, se han recogido las ramas necesarias (aproximadamente 20) y se han almacenado en bolsas espolvoreando un poco de agua para evitar que la humedad disminuya a medida que pasan las horas. En todos los casos, se ha llevado a cabo el ensayo antes de las 6 horas transcurridas tras la recogida de ramas. De esta manera, se ha conseguido reducir la posibilidad de que los resultados se viesan enmascarados por la modificación del estado físico de la rama con respecto a su estado en campo.

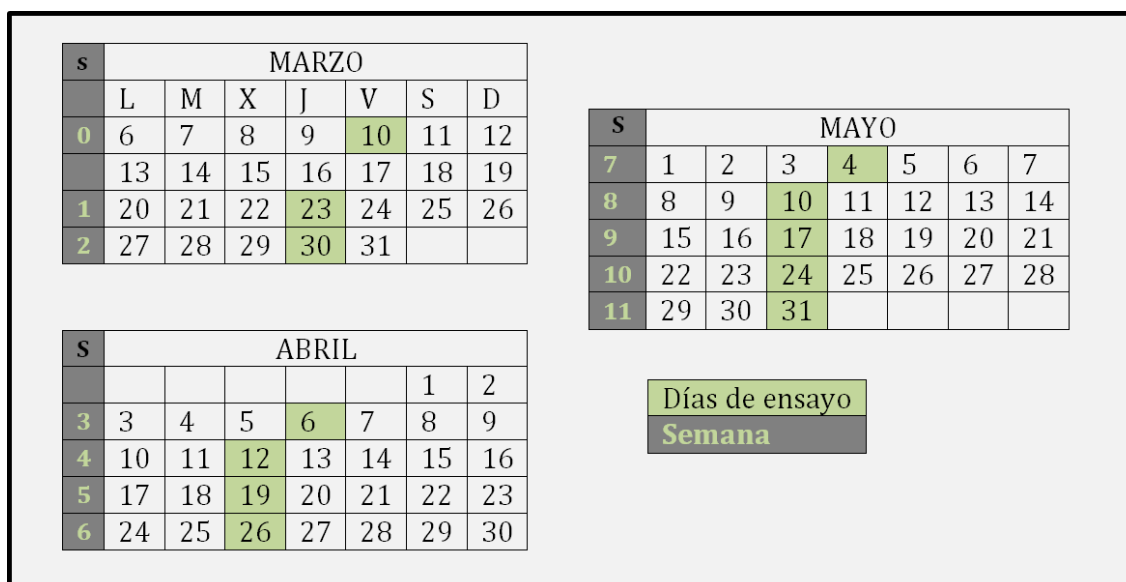


Figura 9. Calendario de realización de ensayos.

Antes de comenzar, se han escogido cuidadosamente las ramas de forma que se obtuviese unas condiciones aparentemente homogéneas en cuanto a tamaño de rama, número de frutos, variabilidad de estadíos, entre las diferentes frecuencias y carreras a ensayar y se han numerado las ramas asignando cada una a un ensayo. En la siguiente tabla se resumen los ensayos llevados a cabo.

Tabla 2. Tabla resumen de los ensayos llevados a cabo.

Semana	Frecuencia (Hz)	Carrera (mm)	Estadío	nº ramas
0	7/10,5/13/13,7/34,8	15/30/120	56 Botón blanco	9
1	11,2/13,4/34,1/35,2/41	15/30	56 Botón blanco	9
2	23,2/34,8/37,8	15/30	59 Bola hueca y alargada	9
3	23,2/34,8	15/30	65 Plena floración	8
4	34,8	15/30	67 Marchitan	8
5	34,8/37,8	15/30	71 Cuajado	11
6	34,8/37,8	15/30	72 Fruto verde	14
7	34,8/37,8	15/30	72 Fruto verde	16
8	34,8/37,8	15/30	72 Fruto verde	20
9	34,8/37,8	15/30	72 Fruto verde	16
10	34,8/37,8	15/30	72 Fruto verde	16
11	34,8/37,8	15/30	72 Fruto verde	16

Para comenzar la vibración, en primer lugar se coloca la rama en el dispositivo tal y como se ha explicado anteriormente (3.2.1). A continuación se toma la fotografía y seguidamente se inicia la grabación del vídeo y el registro de la vibración en PICOSCOPE. Entonces se da paso a la vibración (se ha procurado que la duración de las vibraciones fuera uniforme y de aproximadamente 10 segundos, aunque no fue un dato medido in situ).

Para cada ensayo, una vez vibrada la rama, se ha finalizado la grabación del vídeo, se ha finalizado y guardado la frecuencia en Picoscope y se ha realizado la foto final. Después se ha recogido los frutos o flores caídos y se han guardado en sobres según el número de rama, para más tarde llevarlos a laboratorio.

En laboratorio, antes de realizar las medidas deseadas, se ha llevado un recuento de frutos caídos y no caídos de cada rama con el fin de poder calcular el porcentaje de frutos caídos. A continuación se han tomado las siguientes medidas:

- Calibre
- Peso
- Tamaño de rama
- Fuerza de tracción

El peso, el calibre y la fuerza de tracción se han medido tanto de las ramas vibradas como de las no vibradas para tratar evitar que los datos se vean afectados por la vibración y de esta manera

relacionar el estado del fruto o de la flor con el porcentaje de caídos. Por otra parte, el hecho de realizar la medida en ramas no vibradas ha asegurado el factor “casualidad”.

- Ensayo de flores

En el caso del aclareo de flores se ha hecho distinción entre botones florales y sus diferentes tamaños, flores y flores con el cáliz engrosado, considerándose los diferentes estadios de la evolución del fruto según la escala BBCH (Agustí *et al.*, 1995) (Anejo 3).

- Ensayo de frutos

En el caso de los frutos la evolución ha sido más rápida, por ello se ha tenido en cuenta el calibre del fruto distinguiendo entre los muy pequeños al principio de la evolución, los medianos y los más grandes de alrededor de 20 mm de diámetro.

3.2.4. Metodología de los ensayos de tracción

Mediante este ensayo se mide la fuerza de retención del botón floral, flor o fruto a la rama, para las distintas semanas durante el desarrollo fenológico. Cada semana se seleccionaron entre 10 y 20 frutos de las ramas no vibradas para someterlos al ensayo de tracción.

Con ayuda de la máquina universal de ensayos (Figura 5) se sujeta la rama a la base y sin pinzar el pedúnculo con la pinza de agarre (figuras 5 y 6), simplemente estirando se lleva a cabo un esfuerzo de tracción progresivo (hacia arriba) a una velocidad de $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. De este modo el fruto se separa por el punto más débil pudiendo ser el cáliz o el pedúnculo.

En el anejo 2 se describe cómo se llevó a cabo la calibración de estos ensayos.

3.2.5. Detalle de los ensayos realizados

En cuanto al estudio de la influencia de las diferentes carreras y frecuencias utilizadas, la semana 0 y la semana 1 se llevaron a cabo, a modo de prueba, ensayos con carreras y frecuencias muy dispares. Esto permitió analizar de forma general el efecto sobre los porcentajes de derribo. Se hicieron los siguientes ensayos:

Tabla 3. Tabla explicativa de los ensayos llevados a cabo durante las semanas (Sem) 0 y 1.

Sem	Ensayo	Frecuencia (Hz)	Carrera (mm)
0	1	34,0	15
	2	34,0	30
	3	13,7	80
	4	7,0	120
	5	10,5	120
	6	10,5	120
	7	13,0	120
1	1	11,2	120
	2	11,2	120
	3	11,2	120
	4	13,4	120
	5	34,7	15
	6	41,0	15
	7	35,2	30
	8	34,1	30

Las semanas siguientes se decidió realizar los ensayos con las mismas carreras y frecuencias de modo que hubiese una masa de datos relevante para poder realizar el estudio. Tras estos ensayos de prueba se decidió utilizar carreras de 30 mm y 15 mm y frecuencias de 34,8, 37,8 y 23,2 Hz (esta última más tarde se eliminó). En la tabla 3 se pueden ver los ensayos realizados.

4. Resultados

4.1. Resultados del ensayo de aclareo de flores y frutos

En la tabla 4 se muestran los valores medios de frecuencia, calibre, peso, y fuerza de tracción de los ensayos realizados cada semana. En el anejo 1 se presentan los resultados completos.

Los datos de calibre, peso y fuerza de tracción de la semana 10 no han sido representados en ninguno de los análisis posteriores porque los datos no estaban completos.

Tabla 4. Tabla resumen de las medias de masas medias (g), calibre medio (mm), fuerza de tracción media (FT, N) y el estadio de los frutos para cada semana y ensayo.

Sem	Frecuencia (Hz)	Carrera (mm)	Calibre (mm)	Masa (g)	FT (N)	Estadio	Nºramas
0	7/10,5/13/13,7/34,8	15/30/120	-		-	56 Botón blanco	9
1	11,2/13,4/34,1/35,2/41	15/30	-		-	56 Botón blanco	9
2	23,2/34,8/37,8	15/30	1,26	0,67	0,41	59 Bola hueca y alargada	9
3	23,2/34,8	15/30	0,46	0,71		65 Plena floración	8
4	34,8	15/30	7,23	0,42	3,56	67 Marchitan	8
5	34,8/37,8	15/30	7,95	0,53	4,36	71 Cuajado	11
6	34,8/37,8	15/30	6,40	11,04	4,12	72 Fruto verde	14
7	34,8/37,8	15/30	9,16	0,76	9,01	72 Fruto verde	16
8	34,8/37,8	15/30	10,19	1,20	17,59	72 Fruto verde	20
9	34,8/37,8	15/30	18,41	4,36	32,07	72 Fruto verde	16
10	34,8/37,8	15/30				72 Fruto verde	16
11	34,8/37,8	15/30	30,34	15,85	40,76	72 Fruto verde	16

4.1.1. Evolución de los parámetros descriptivos en el tiempo

Se analiza en un primer punto cómo evoluciona la fructificación a lo largo de las semanas, estudiando en cada una de ellas la proporción de botones florales, flores, cálices pequeños o cálices engrosados.

En la figura 10 se representan los porcentajes de cada estadio según la semana. En el caso de los botones florales, tal y como se esperaba, hay un alto porcentaje en la primera semana y va disminuyendo con el tiempo. En cuanto a las flores, el porcentaje aumenta en la tercera semana, coincidiendo con el estadio “floral” y disminuye en proporción a lo largo de las semanas siguientes. Finalmente, se observa que en los resultados de los cálices pequeños o grandes hay alguna discrepancia puesto que no sigue una relación lógica en el caso de los cálices grandes. El porcentaje de estos disminuye la segunda semana y sin embargo vuelve a aumentar la tercera. Puede ser debido a un mal calibrado, a discrepancias en el concepto de “cáliz engrosado” o “cáliz pequeño” según la semana o al muestreo en la selección de las ramas en los árboles (es posible que los seleccionados la segunda semana estuvieran más retrasados que los de la primera).

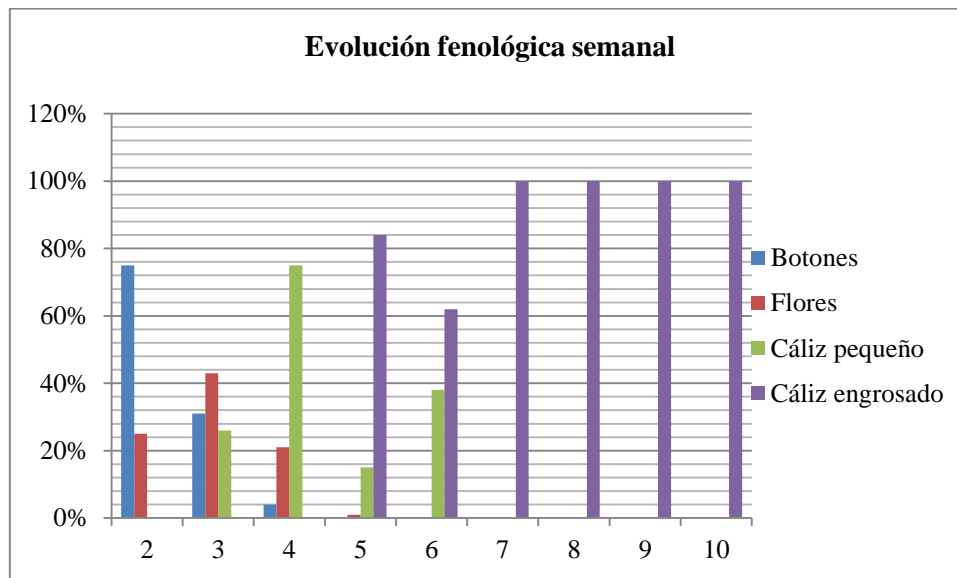


Figura 10. Evolución fenológica a lo largo de las semanas, desde la 2 hasta la 10.

4.1.2. Evolución del calibre, la masa y la fuerza de tracción en el tiempo

En la figura 11 se representa la evolución del calibre, la masa y la fuerza de tracción en el tiempo.

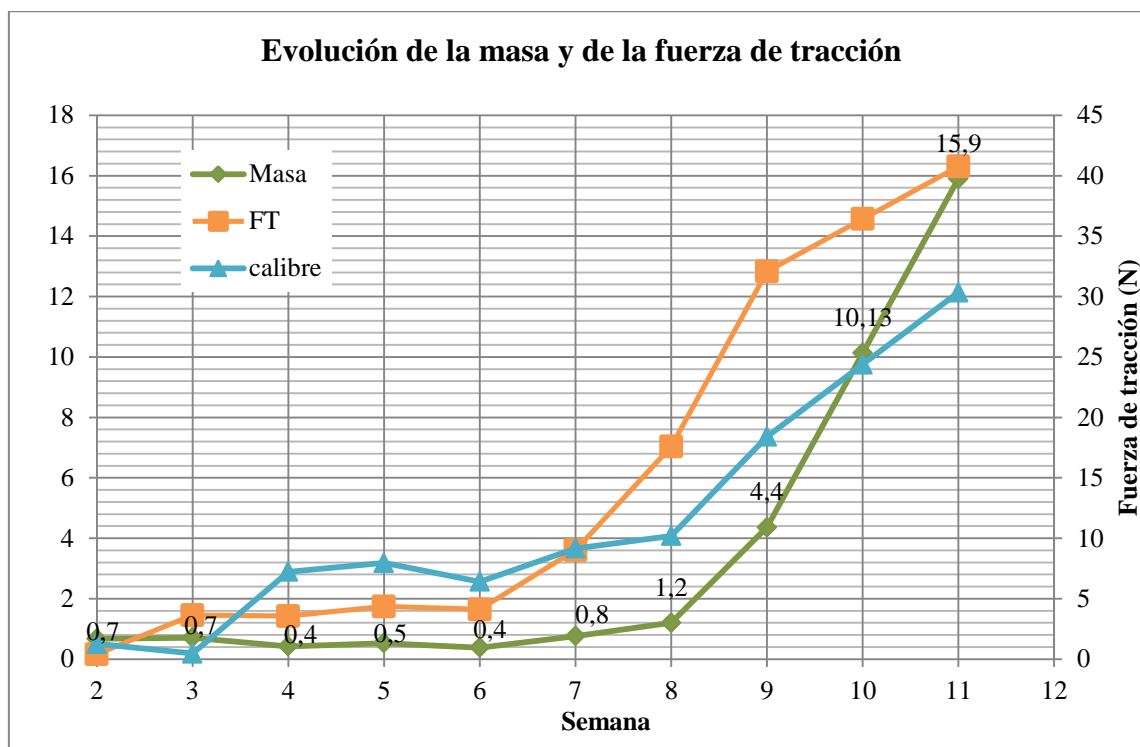


Figura 11: Evolución del calibre (mm), la masa (g) y la fuerza de tracción (FT, N) en el tiempo.

En cuanto a la evolución del calibre en el tiempo, se aprecian dos saltos, el primero entre la tercera y la cuarta semana y el siguiente entre la octava y la novena.

Las semanas 2 y 3 los calibres eran muy reducidos, correspondiendo a botones florales, flores y cálices pequeños. En la cuarta semana se puede apreciar un pequeño salto en el tamaño del calibre respecto a las semanas anteriores y a lo largo de las semanas 4 y 8 hay un pequeño crecimiento de los frutos, exceptuando el dato anómalo de la semana 6, en la que puede haber habido un error en la toma de muestras. Finalmente, a partir de la 8, en la que la proporción de órganos florales se encuentra dominada por cálices engrosados, se aprecia un crecimiento más acusado.

En el caso de la masa se aprecian dos zonas claramente diferenciadas, la primera comprendida entre las semanas 2 y 8, en la que el crecimiento es muy bajo, casi nulo, y la segunda, a partir de la semana 8 en que se produce un crecimiento lineal acusado.

La fuerza de tracción tiene una evolución similar a la de la masa pero con un pequeño desplazamiento en el tiempo, se trata de una evolución más progresiva.

4.2. Influencia de la carrera, la frecuencia y la semana

A continuación se va a analizar el efecto de la carrera, de la frecuencia y de la semana sobre el porcentaje de derribo.

En primer lugar cabe explicar que, en cuanto a las diferentes carreras y frecuencias utilizadas, la semana 0 y la semana 1 se llevaron a cabo, a modo de prueba, ensayos con carreras muy dispares. Estos ensayos permitieron analizar, de forma general, el efecto de la variación entre carreras muy pequeñas y carreras muy grandes sobre los porcentajes de derribo. En un primer momento se pensó que no se iba a conseguir desprender botones florales y flores, sin embargo gracias a estos primeros ensayos se pudo confirmar que sí que existían combinaciones en las que se producía esta caída. Las semanas siguientes se decidió realizar los ensayos con carreras y frecuencias homogéneas de modo que existiese una cantidad de datos relevante para poder realizar el estudio. Las carreras y frecuencias que se analizaron fueron 30 mm y 15 mm y 34,8 Hz y 37,8 Hz.

Con el fin de explicar la variabilidad de datos (presentados en el anejo 1), se ha realizado un análisis de varianza del porcentaje de derribo en función de la carrera, la semana y la frecuencia, tabla 5.

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza del efecto de los factores carrera, semana y frecuencia en el porcentaje de derribo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Frecuencia	3843,15	1	3843,15	4,69	0,0322
B:Semana	20297,2	9	2255,24	2,75	0,0057
C:Carrera	50585,4	1	50585,4	61,77	0,0000
RESIDUOS	100733,	123	818,967		
TOTAL (CORREGIDO)	171463,	134			

Según el P-valor calculado, todos los factores (carrera, frecuencia y semana) influyen significativamente en el porcentaje de derribo.

4.2.1. Efecto de la frecuencia

La figura 12 muestra como los porcentajes obtenidos mediante la frecuencia de 37,8 Hz son significativamente más elevados que los obtenidos mediante la frecuencia de 34,8 Hz.

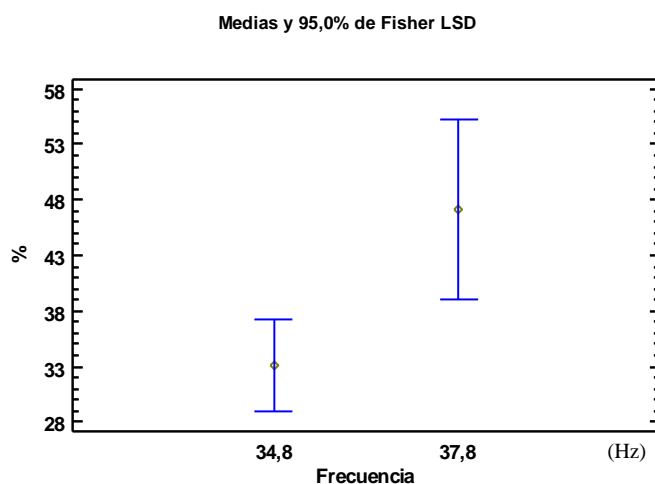


Figura 12: Porcentaje total de derribo (%total) con respecto a la frecuencia utilizada (Hz).

4.2.1. Influencia de la carrera

En la figura 13 se muestra cómo evolucionan los porcentajes de derribo para las dos carreras utilizadas. Para ambas carreras la evolución del porcentaje de derribo a lo largo de las semanas es paralela. La carrera de 30 mm consigue desprender un porcentaje significativamente más alto que la de 15 mm.

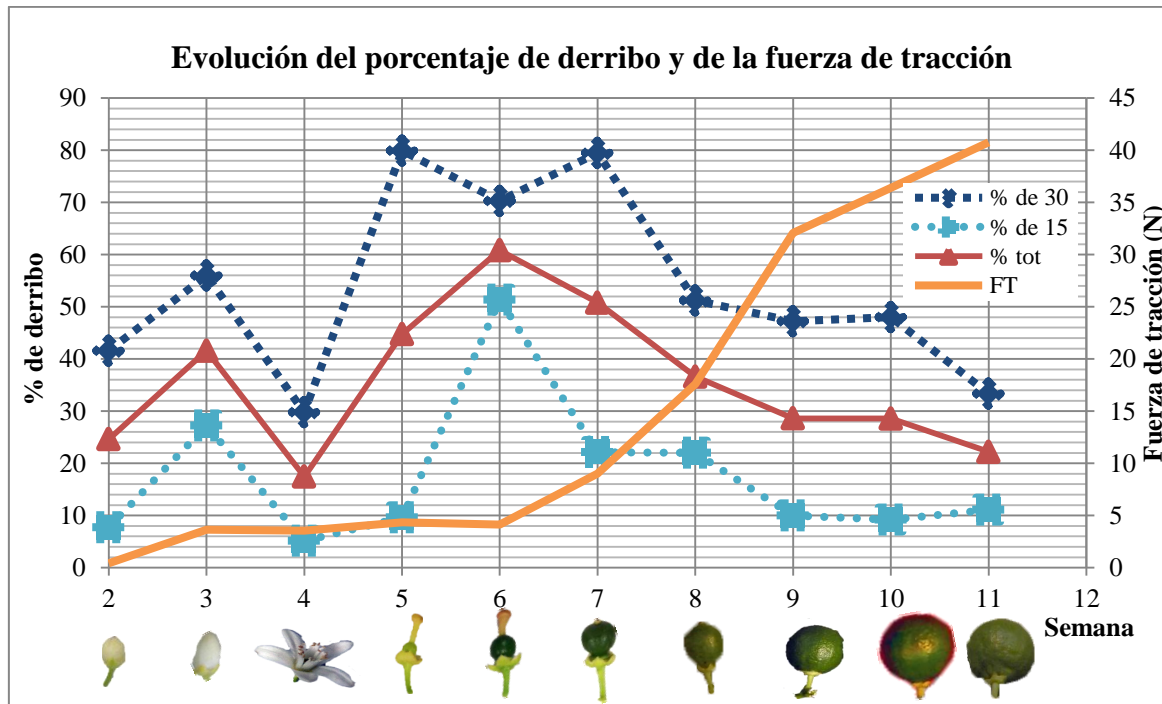


Figura 13: Evolución del porcentaje de derribo para la carrera de 30 mm (% de 30), para la carrera de 15 mm (% de 15) y para la media total (% tot) comparado con la evolución de la fuerza de tracción (FT, N) y los estadios.

Se puede considerar que, con ensayos de aproximadamente 10 segundos de duración, es más interesante el efecto de la carrera de 15 mm, puesto que en el caso de la de 30 mm los porcentajes de desprendimiento son siempre muy acusados (superiores al 30%). Cabe destacar que, teniendo en cuenta únicamente los primeros segundos, es posible que el efecto de la carrera de 30 mm sea más interesante. De este modo el porcentaje de desprendimiento no sería tan elevado tal y como indican Ortiz *et al.*, (2017).

4.2.2. Influencia de la semana

El factor semana también influye significativamente en el porcentaje de derribo (tabla 5). Esto quiere decir que la capacidad de desprendimiento de botones florales, flores y frutos es diferente según el estado fenológico. Tal y como se ve representado en la figura 13, los porcentajes de desprendimiento son bajos en los estadios de botones florales y flores, a continuación se incrementan en los primeros estadios del engrosamiento del fruto y más tarde vuelven a disminuir conforme estos van engrosando.

Para que se produzca el derribo del fruto, la fuerza de inercia a la que es sometido el fruto por el vibrado de ramas debe ser mayor que la fuerza de retención del fruto a la rama.

La fuerza de inercia es directamente proporcional a la masa del fruto y a la aceleración provocada por la vibración, y esta depende de la frecuencia, de la carrera y de la resistencia aerodinámica del fruto.

La semana 4, en plena floración, se puede apreciar un claro descenso del porcentaje de derribo. Este efecto se podría explicar por la elevada resistencia aerodinámica que ejercen los pétalos de las flores con respecto a su peso, lo cual hace que en este caso la fuerza total de inercia ejercida por la agitación sea muy baja.

En la figura 14 se representa semanalmente la cantidad de frutos por rama ensayada y su media. A partir de la semana 4 se observa una clara disminución, lo cual podría estar relacionado con el desprendimiento natural de los frutos por el árbol en campo. Este hecho podría justificar el elevado porcentaje de desprendimiento observado durante las semanas 5,6 y 7 (figura 13) por la débil fuerza de retención de los frutos al árbol que de forma natural se desprenderían. Este efecto cambia a partir de la semana 8, cuando la caída natural de los frutos deja de producirse y los frutos que permanecen en la rama poseen una elevada fuerza de retención.

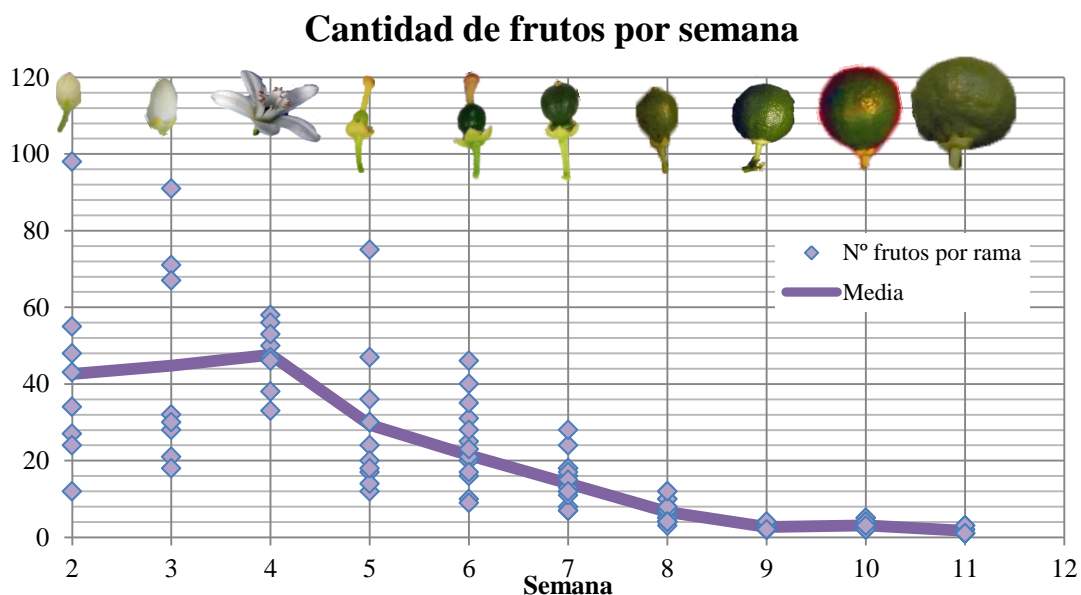


Figura 14: Cantidad de frutos por rama en función de las semanas.

Se describe a continuación un modelo de regresión que relaciona el porcentaje de derribo con la fuerza de tracción necesaria para desprender la fruta de la rama a partir del estadio 72 (semana 7 en adelante) de la escala BBH. Este modelo logarítmico tiene una R^2 de 87,5 %.

$$\% \text{ Derribo} = 67,5111 - 16,0882 * \ln(FT)$$

Tabla 6: Regresión simple del porcentaje de desprendimiento respecto a la fuerza de tracción

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	67,5111	9,1636	7,36732	0,0018
Pendiente	-16,0882	3,0383	-5,29513	0,0061

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1118,91	1	1118,91	28,04	0,0061
Residuo	159,625	4	39,9064		
Total (Corr.)	1278,53	5			

Coeficiente de Correlación = -0,935494
 R-cuadrada = 87,515 %
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 84,3937 %
 Error estándar del est. = 6,31715
 Error absoluto medio = 3,92079
 Estadístico Durbin-Watson = 2,5563 (P=0,5683)
 Autocorrelación de residuos en retraso 1= -0,446114

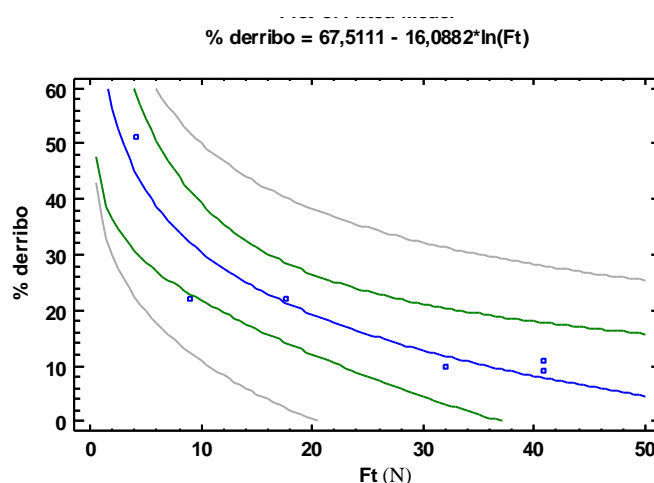


Figura 15: Relación entre el porcentaje de derribo y la fuerza de tracción (N).

Tal y como se puede ver en la figura 15, el porcentaje de derribo disminuye conforme aumenta la fuerza de tracción. El comportamiento logarítmico se puede dividir en dos fases, la primera fase en la que el porcentaje disminuye rápidamente cuando aumenta la fuerza de tracción (con una pendiente más acusada) y la segunda en la que el decrecimiento se frena representándose con una pendiente más leve.

4.3. Daños

A lo largo de los ensayos se observó visualmente si en las ramas vibradas los frutos remanentes presentaban algún daño que aparentemente pudiese afectar a su crecimiento. Cabe destacar que no se observaron daños relevantes. Tras el vibrado prácticamente no se observó deshojado.

4.4. Punto de abscisión

Se ha observado que, a lo largo de las semanas el punto por el que el fruto se desprendía de la rama iba variando.

Las primeras semanas en las que se trataba de flores, botones florales y cálices poco engrosados la flor o el fruto se desprendía con el pedicelo o el pedúnculo. Por el contrario, los frutos con el cáliz engrosado se desprendían sin pedúnculo, con cáliz.

5. Conclusiones

Es posible desprender botones florales, flores o frutos con diferentes combinaciones de carreras (de 30 o 15 mm) y frecuencias (entre 34 y 37 Hz), bajo las condiciones de laboratorio ensayadas.

- A lo largo del desarrollo de los botones florales, flores y frutos pequeños, tanto la fuerza de tracción necesaria para desprender el fruto de la rama como el calibre aumentan. La masa, por el contrario, se mantiene más estable. Es a partir de la séptima semana de ensayo en la que dominan los frutos engrosados cuando comienza a tener lugar un crecimiento más acusado de la fuerza de tracción. El crecimiento de la masa sigue una evolución paralela a la fuerza de tracción pero desplazado dos semanas en el tiempo.
- Con la carrera de 30 mm se alcanza un porcentaje de derribo significativamente más alto (superior al 30 % en todos los casos) que con la de 15 mm, para las frecuencias utilizadas (entre 34 y 37 Hz).
- La frecuencia tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de derribo. La frecuencia de 37,8 Hz alcanza un porcentaje de desprendimiento más elevado (32%) que la de 34,8 Hz (26%).
- La capacidad de desprendimiento de los frutos varía en función del estado fenológico en el que se encuentran. Los porcentajes son bajos en los estadios de botones florales y flores, a continuación se incrementan en los primeros estadios del engrosamiento del fruto (coincidiendo con el inicio del aclareo natural) y más tarde vuelven a disminuir conforme los frutos van engrosando (coincidiendo con el incremento de la fuerza de tracción).
- El porcentaje de desprendimiento disminuye conforme aumenta la fuerza de tracción necesaria para desprender el fruto de la rama. Esta relación tiene un comportamiento logarítmico en el que en primer lugar el porcentaje de desprendimiento disminuye rápidamente cuando aumenta la fuerza de tracción y a continuación el decrecimiento se frena.

6. Propuestas para trabajos futuros

En primer lugar sería interesante utilizar los videos realizados en los ensayos de vibrado de ramas para analizar cuánto tiempo necesitan los frutos para desprenderse.

Cabe destacar que todos estos resultados analizan el comportamiento de los frutos durante el vibrado pero no son extrapolables directamente a campo. Es por ello que sería interesante llevar a cabo ensayos similares con equipos comerciales en campo.

Sería conveniente estudiar con más detalle la resistencia de los materiales y relacionarlo con el porcentaje de desprendimiento. Por un lado se podría analizar la fuerza de tracción en cada uno de los puntos críticos de desprendimiento de los frutos, (cáliz/pedúnculo, pedúnculo/rama) y por otro lado estudiar cómo influye en el desprendimiento el ángulo en el que se realiza la tracción.

7. Bibliografía

AGUSTÍ, M. y ALMELA, V., 1984. *Mejora de la calidad del fruto de la mandarina Satsuma*. Bco. de Santander, Madrid, España. ISBN: 84-398-1798-3.

AGUSTÍ, M. y ALMELA, V., 1991. *Aplicación de fitorreguladores en citricultura*. ED. AEDOS, Barcelona, España

AGUSTÍ, M.; ZARAGOZA, S.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; HACK, H.; KLOSE, R.; Y STAUB, R. 1995. *Escala BBCH para la descripción de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. Citrus)*. **Levante Agrícola**. 332.189 - 199.

AGUSTÍ, M; MARTÍNEZ-FUENTES, A; MESEJO, C; JUAN, M; ALMELA, M., 2003. *Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos*. Generalitat de Valencia, Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentació.

AGUSTÍ, M., 2003. *Citricultura*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

BERLAGE, A.G. and LANGMO, R.D., 1982. *Machine vs. hand thinning of peaches*. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. 25:538–543.

BYERS, R.E., 1990. *Thin peaches with water*. **American Fruit Grower**. 110. 20–21.

DAMEROW, L; KUNZ, A AND BLANKE, M., 2007. *Regulation of fruit set by mechanical thinning*. **Erwerbs-Obstbau** 49:1–9.

DIEZMA, B. and ROSA, U.A., 2005. *Monitoring of fruit removal for mechanical thinning of peaches*. **Frutic** 5:12–16.

FAO. 2016. *Citrus Fruit Statistics 2015*.

GLOZER, K. and HASEY, J., 2006. *Mechanical thinning in cling peach*. **HortScience** 41:995. (Abstr.).

GONZÁLEZ-ROSSIA, D; REIGA, C; JUANA, M y AGUSTÍ, M., 2007. *Horticultural factors regulating effectiveness of GA3 inhibiting flowering in peaches and nectarines (Prunus persica L.Batsch)*. **Scientia Hort**. 111,4:352-357.

HEHNEN, D; HANRAHAN, I; LEWIS, K; MC FERSON, J., 2012. *Mechanical flower thinning improves fruit quality of apples and promotes consistent bearin*. **Scientia Horticulturae** 134: 241-244.

ILIE, A., HOZA, D., OLTENACU, V., 2016. *A brief overview of hand and chemical thinning of apple fruit*. Scientific Papers. Series B, Horticulture. Vol. LX. Rumanía.

JUSTE, F; MARTÍN, B; FABADO, F; MOLTÓ, E., 2000. *Estudio sobre la reducción de los costes de producción de cítricos mediante la mecanización de las prácticas de cultivo*. **Todo Citrus**. 8. 23–36.

MAPAMA, 2016. *Informa anual de indicadores: Agricultura, alimentación y medio ambiente 2015*. **Análisis y Prospectiva**. Serie Indicadores.

- MARTÍN, B; TORREGROSA, A; GARCÍA BRUNTON, J., 2010. *Post-bloom thinning of peaches for canning with hand-held mechanical devices*. **ELSEVIER**. 125(4). 658-665.
- MESEJO, C; MARTÍNEZ-FUENTES, A; JUAN, M; ALMELA, V y AGUSTÍ, M., 2003. *Vascular tissues development of citrus fruits peduncle is promoted by synthetic auxins*. **Plant Growth Regulation**. 39:131-135.
- ORTIZ, C; ORTI, E; BALASCH, S; MARTÍN-GORRIZ, B; TORREGROSA, A., 2017. *Análisis del aclareo mecánico de mandarinas a través de los vídeos de desprendimiento en laboratorio*. IX Congreso Ibérico de Agroingeniería. Braganza (Portugal).
- OUMA, G., 2012. *Fruit thinning with specific reference to citrus species*. **Agriculture and Biology Journal of North America** 3(4): 175-191.
- PASCUAL, M; NOLLA, JM; RUFAT, J; COSIALLS, JR., 2009. *El aclareo mecánico como técnica para mejorar la producción y la calidad de los frutos*. **Revista Vida Rural**. 289. 48-52
- POWELL, A.A; HANCOCK, B.G; PULS, E.E; HELMERS, S.G; BROWN, M.H. JR., 1975. *Utilizing mechanical fruit thinning in commercial peach orchards*. **HortScience** 10 (2), 142.
- ROCHE, L. AND MASSERON, A., 2002. *Éclaircissage mécanique des boutons floraux: Darwin et le Mur fruitier*. **Infos-Ctifl** 185:29–33.
- ROSA, U.A; THOMPSON, J.F; SLAUGHTER, D; DEJONG, T; SHACKEL, K; TIAMZON, J; JOHNSON, S., 2004. *Feasibility study of using electromagnetic shaker technology for peach thinning*. In: Proc. Int. Conf. AgEng2004, Leuven, Belgium, 12–16 September, pp. 1116–1117.
- ROSA, U.A; CHEETANCHERI, K.G; GLIEVER, C.J; LEE, S.H; THOMPSON, J; SLAUGHTER, D.C., 2008. *An electro-mechanical limb shaker for fruit thinning*. **Comput. Electron. Agric.** 61, 213–221.
- SCHUPP, J.R; AUXT BAUGHER, T; MILLER, S.S; HARSH, R.M. AND LESSER, K.M., 2008. *Mechanical thinning of peach and apple trees reduces labour input and increases fruit size*. **HortTechnology**. 18:660–670.
- TORREGROSA, A; ORTÍ, E; BALASCH, S; ORTIZ, C., 2017. *Aclareo mecánico de mandarinas 'Clemenrubí' con un vibrador de ramas*. IX Congreso ibérico de Agroengenharia 2017.
- VELÁZQUEZ, M; PERDOMO, A., 2013. *Aclareo en Frutales*. **AgroCabildo**. Tenerife. 494.

ANEJO 1:

Resultados de los ensayos

Semana	Ensayo	Carrera (mm)	Frecuencia (Hz)	Calibre (mm)	Masa (g)	FT (N)	Iniciales	Quedan	% Caídos
0	1	15	34				44	0	0
0	2	30	34,0				44	9	20
0	3	80	13,7				35	1	3
0	4	120	7,0				44	0	0
0	5	120	10,5				44	1	2
0	6	120	10,5				43	6	14
0	7	120	13,0				37	7	19
1	1	120	11,2				90	30	33
1	2	120	11,2				40	15	38
1	3	120	11,2				100	15	15
1	4	120	13,4				30	10	33
1	5	15	34,7				30	34	97
1	6	15	41,0				20	6	30
1	7	30	35,2				8	1	13
2	1	30	34,8	1,26	0,67	0,41	12	10	16,7
2	2	30	34,8	1,26	0,67	0,41	55	8	85,5
2	3	30	34,8	1,26	0,67	0,41	27	16	40,7
2	4	30	34,8	1,26	0,67	0,41	98	75	23,5
2	5	15	34,8	1,26	0,67	0,41	24	20	16,7
2	6	15	34,8	1,26	0,67	0,41	34	30	11,8
2	7	15	34,8	1,26	0,67	0,41	48	48	0,0
2	8	15	34,8	1,26	0,67	0,41	43	42	2,3
3	1	30	34,8	0,46	0,71	1,99	91	45	50,5
3	2	30	34,8	0,46	0,71	2,77	71	42	40,8
3	3	30	34,8	0,46	0,71	3,17	21	11	47,6
3	4	30	34,8	0,46	0,71	3,36	67	10	85,1
3	5	15	34,8	0,46	0,71	3,46	32	2	93,8
3	6	15	34,8	0,46	0,71	3,51	28	26	7,1
3	7	15	34,8	0,46	0,71	3,54	18	18	0,0
3	8	15	34,8	0,46	0,71	3,55	30	28	8,1
4	1	15	34,8	0,46	0,71	3,95	33	33	0
4	2	15	34,8	7,23	0,42	3,56	50	45	10
4	3	15	34,8	7,23	0,42	3,56	38	36	5,3
4	4	15	34,8	7,23	0,42	3,56	58	55	5,2
4	5	30	34,8	7,23	0,42	3,56	47	29	38,3
4	6	30	34,8	7,23	0,42	3,56	56	53	5,4
4	7	30	34,8	7,23	0,42	3,56	46	39	15,2
4	8	30	34,8	7,23	0,42	3,56	53	21	60,4
5	1	30	34,8	7,23	0,42	3,56	24	3	87,5
5	2	30	34,8	7,95	0,53	4,36	20	1	95,0
5	3	30	34,8	7,95	0,53	4,36	75	18	76,0
5	4	30	34,8	7,95	0,53	4,36	36	14	61,1
5	5	15	34,8	7,95	0,53	4,36	30	29	3,3
5	6	15	34,8	7,95	0,53	4,36	47	33	29,8
5	7	15	34,8	7,95	0,53	4,36	17	17	0,0

5	8	15	34,8	7,95	0,53	4,36	12	12	0,0
5	9	15	37,8	7,95	0,53	4,36	30	24	20,0
5	10	15	37,8	7,95	0,53	4,36	14	12	14,3
5	11	15	37,8	7,95	0,53	4,36	18	18	0,0
6	1	15	34,8	7,95	0,53	4,36	46	46	0,0
6	2	15	34,8	6,4	0,38	4,12	31	4	87,1
6	3	15	34,8	6,4	0,38	4,12	10	4	60,0
6	4	15	34,8	6,4	0,38	4,12	9	2	77,8
6	5	30	34,8	6,4	0,38	4,12	20	0	100,0
6	6	30	34,8	6,4	0,38	4,12	16	1	93,8
6	7	30	34,8	6,4	0,38	4,12	25	12	52,0
6	8	30	34,8	6,4	0,38	4,12	21	8	61,9
6	9	15	37,8	6,4	0,38	4,12	23	15	34,8
6	10	15	37,8	6,4	0,38	4,12	17	9	47,1
6	11	15	37,8	6,4	0,38	4,12	40	19	52,5
6	12	30	34,8	6,4	0,38	4,12	28	12	57,1
6	13	30	34,8	6,4	0,38	4,12	35	15	57,1
7	1	30	34,8	6,4	0,38	4,12	12	0	100,0
7	2	30	34,8	6,4	0,38	4,12	16	9	43,8
7	3	30	34,8	9,16	0,76	9,01	7	0	100,0
7	4	30	34,8	9,16	0,76	9,01	8	2	75,0
7	5	15	37,8	9,16	0,76	9,01	24	19	20,8
7	6	15	37,8	9,16	0,76	9,01	18	18	0,0
7	7	15	34,8	9,16	0,76	9,01	12	12	0,0
7	8	15	34,8	9,16	0,76	9,01	7	7	0,0
7	9	15	34,8	9,16	0,76	9,01	28	25	10,7
7	10	15	34,8	9,16	0,76	9,01	18	9	50,0
7	11	15	37,8	9,16	0,76	9,01	7	3	57,1
7	12	15	37,8	9,16	0,76	9,01	13	10	23,1
7	13	15	37,8	9,16	0,76	9,01	11	9	18,2
7	14	15	37,8	9,16	0,76	9,01	17	10	41,2
7	15	30	34,8	9,16	0,76	9,01	15	0	100,0
7	16	30	34,8	9,16	0,76	9,01	12	5	58,3
8	1	15	37,8	9,16	0,76	9,01	5	3	40,0
8	2	15	37,8	9,16	0,76	9,01	8	5	37,5
8	3	15	37,8	10,19	1,2	17,59	6	4	33,3
8	4	15	37,8	10,19	1,2	17,59	6	5	16,7
8	5	15	37,8	10,19	1,2	17,59	5	4	20,0
8	6	15	37,8	10,19	1,2	17,59	7	2	71,4
8	7	15	34,8	10,19	1,2	17,59	5	5	0,0
8	8	15	34,8	10,19	1,2	17,59	4	4	0,0
8	9	15	34,8	10,19	1,2	17,59	10	8	20,0
8	10	15	34,8	10,19	1,2	17,59	8	6	25,0
8	11	15	34,8	10,19	1,2	17,59	12	12	0,0
8	12	15	34,8	10,19	1,2	17,59	4	4	0,0
8	13	30	34,8	10,19	1,2	17,59	10	3	70,0
8	14	30	34,8	10,19	1,2	17,59	7	1	85,7

8	15	30	34,8	10,19	1,2	17,59	4	3	25,0
8	16	30	34,8	10,19	1,2	17,59	3	3	0,0
8	17	30	34,8	10,19	1,2	17,59	8	3	62,5
8	18	30	34,8	10,19	1,2	17,59	4	0	100,0
8	19	30	34,8	10,19	1,2	17,59	4	4	0,0
8	20	30	34,8	10,19	1,2	17,59	12	4	66,7
9	1	15	34,8	10,19	1,2	17,59	3	3	0,0
9	2	15	34,8	10,19	1,2	17,59	3	3	0,0
9	3	15	34,8	18,41	4,36	32,07	3	3	0,0
9	4	15	34,8	18,41	4,36	32,07	2	2	0,0
9	5	15	37,8	18,41	4,36	32,07	2	1	50,0
9	6	15	37,8	18,41	4,36	32,07	3	3	0,0
9	7	15	37,8	18,41	4,36	32,07	2	1	50,0
9	8	15	37,8	18,41	4,36	32,07	3	3	0,0
9	9	15	37,8	18,41	4,36	32,07	2	2	0,0
9	10	15	37,8	18,41	4,36	32,07	4	4	0,0
9	11	30	34,8	18,41	4,36	32,07	3	0	100,0
9	12	30	37,8	18,41	4,36	32,07	2	1	50,0
9	13	30	34,8	18,41	4,36	32,07	3	2	33,3
9	14	30	34,8	18,41	4,36	32,07	2	1	50,0
9	15	30	34,8	18,41	4,36	32,07	4	2	50,0
9	16	30	34,8	18,41	4,36	32,07	2	2	0,0
10	1	30	34,8	18,41	4,36	32,07	4	0	100
10	2	30	34,8	18,41	4,36	32,07	5	3	40
10	3	30	34,8	24,38	10,13	36,42	5	2	60
10	4	30	34,8	27,36	13,02	38,59	3	0	100
10	5	30	34,8	28,85	14,46	39,67	3	2	33
10	6	30	34,8	29,59	15,18	40,22	3	3	0
10	7	30	34,8	29,97	15,54	40,49	3	3	0
10	8	15	37,8	30,15	15,72	40,62	2	2	0
10	9	15	37,8	30,25	15,81	40,69	3	3	0
10	10	15	37,8	30,29	15,85	40,73	2	2	0
10	11	15	37,8	30,32	15,88	40,74	3	3	0
10	12	15	37,8	30,33	15,89	40,75	3	1	67
10	13	15	37,8	30,33	15,89	40,76	2	2	0
10	14	15	34,8	30,34	15,90	40,76	2	2	0
10	15	15	34,8	30,34	15,90	40,76	4	3	25
10	16	15	34,8	30,34	15,90	40,76	4	4	0
10	17	15	34,8	30,34	15,90	40,76	3	3	0
11	1	30	34,8	30,34	15,90	40,76	1	0	100
11	2	30	34,8	30,34	15,90	40,76	1	1	0
11	3	30	34,8	30,34	15,9	40,76	1	1	0
11	4	30	34,8	30,34	15,9	40,76	3	3	0
11	5	30	34,8	30,34	15,9	40,76	3	3	0
11	6	30	34,8	30,34	15,9	40,76	1	1	0
11	7	30	34,8	30,34	15,9	40,76	2	2	0
11	8	15	37,8	30,34	15,9	40,76	3	3	0

11	9	15	37,8	30,34	15,9	40,76	1	1	0
11	10	15	37,8	30,34	15,9	40,76	2	0	100
11	11	15	37,8	30,34	15,9	40,76	1	1	0
11	12	15	34,8	30,34	15,9	40,76	1	1	0
11	13	15	34,8	30,34	15,9	40,76	3	3	0
11	14	15	34,8	30,34	15,9	40,76	2	2	0
11	14*	15	37,8	30,34	15,9	40,76	2	2	0
11	13*	15	37,8	30,34	15,9	40,76	3	3	0
11	12*	30	37,8	30,34	15,9	40,76	1	0	100
11	11*	30	37,8	30,34	15,9	40,76	1	0	100

ANEJO 2:

Calibrado del

equipo de medición

de la fuerza de

tracción

Al comenzar a medir las fuerzas de tracción se observa que los valores observados son demasiado elevados. Por ello se lleva a cabo una valoración de la exactitud del sistema.

Antes de comenzar la medición el aparato marca 0,029 y al añadir la pinza 0,087.

Para llevar a cabo la calibración, se toman datos de pesos de masa conocida y se mide su masa real utilizando una balanza (Masa real (g)). A continuación se mide la fuerza de tracción con el andilog (F andilog (N)).

Una vez medidos estos datos se comparan con los datos teóricos por cálculo.

Por un lado, conociendo la masa real puede ser calculada la fuerza ejercida por la misma sobre la máquina universal de ensayos. Multiplicándola por la aceleración gravitacional.

$$F_{real} = m * g$$

Por otro lado se calcula, en función cuál debería ser la Masa del objeto para esa fuerza. De la misma manera que anteriormente se calcula la masa.

$$m = \frac{F_{real}}{g}$$

Siendo

- Freal la Fuerza, medido en Newtons, N.
- m la masa, medido en Kg.
- g la aceleración gravitacional, expresado en m/s²

Masa teórica (g)	Masa real (g)	F andilog (N)	Masa andilog (g)	F real (N)
10	10,036	0,16	16,32653061	0,0983528
20	19,968	0,2326	23,73469388	0,1956864
50	49,923	0,4217	43,03061224	0,4892454
100	100,21	0,7125	72,70408163	0,982058
200	199,95	1,30871	133,5418367	1,95951
500	500	3,0975	316,0714286	4,9

ANEJO 3:

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los agrios

Agrios/Cítricos Agusti et al., 1995

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los agrios (*Citrus spec.*)

Código	Descripción
--------	-------------

Estadio principal 0: Desarrollo de las yemas

00	Reposo: Yemas vegetativas y de inflorescencias indiferenciadas, cerradas y cubiertas de escamas
01	Comienzan a hincharse las yemas
03	Finaliza el hinchamiento de las yemas: las escamas verdes están ligeramente separadas
07	Empieza la apertura de las yemas
09	Los primordios foliares son visibles

Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas

10	Las primeras hojas empiezan a separarse: las escamas verdes están ligeramente abiertas y las hojas emergiendo
11	Las primeras hojas son visibles ¹⁾
15	Se hacen visibles más hojas, pero sin alcanzar su tamaño final
19	Las hojas alcanzan su tamaño final

Estadio principal 3: Desarrollo de los brotes

31	Empieza a crecer el brote: se hace visible su tallo
32	Los brotes alcanzan alrededor del 20% de su tamaño final.
39	Los brotes alcanzan alrededor del 90% de su tamaño final

Estadio principal 5: Desarrollo de las flores

51	Las yemas se hinchan: están cerradas y se hacen visibles las escamas, ligeramente verdes
53	Las yemas revientan: las escamas se separan y se hacen visibles los primordios florales.
55	Las flores se hacen visibles: están todavía cerradas (botón verde) y se distribuyen aisladas o en racimos en inflorescencias con o sin hojas
56	Los pétalos crecen; los sépalos envuelven la mitad de la corola (botón blanco)
57	Los sépalos se abren: se hacen visibles los extremos de los pétalos, todavía cerrados, de color blanco o amoratado
59	La mayoría de las flores, con los pétalos cerrados, forman una bola hueca y alargada

¹⁾ En los agrios el término visible sustituye a desplegado utilizado en otras especies frutales. Este último se produce muy prematuramente en los agrios.

Agrios/Cítricos Agusti et al., 1995

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los agrios

Código	Descripción
--------	-------------

Estadio principal 6: Floración

60	Se abren las primeras flores
61	Comienza la floración: alrededor del 10 % de las flores están abiertas
65	Plena floración: alrededor del 50 % de las flores están abiertas. Empiezan a caer los primeros pétalos.
67	Las flores se marchitan: la mayoría de los pétalos están cayendo
69	Fin de la floración: han caído todos los pétalos.

Estadio principal 7: Desarrollo del fruto

71	Cuajado: el ovario empieza a crecer; se inicia la caída de frutos jóvenes.
72	El fruto, verde, está rodeado por los sépalos a modo de una corona
73	Algunos frutos amarillean: se inicia la caída fisiológica de frutos.
74	El fruto alcanza alrededor del 40% del tamaño final. Adquieren un color verde oscuro. Finaliza la caída fisiológica de frutos.
79	El fruto alcanza alrededor del 90 % de su tamaño final

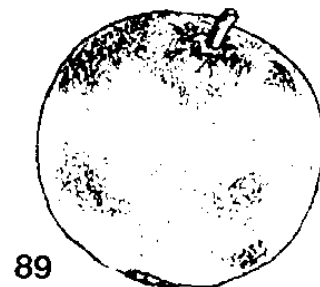
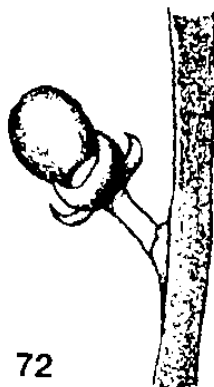
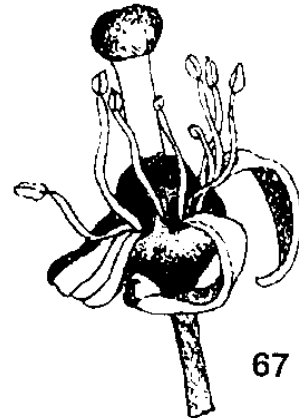
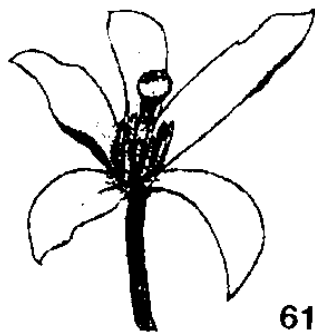
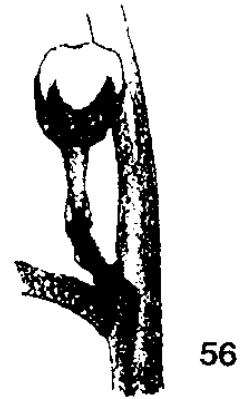
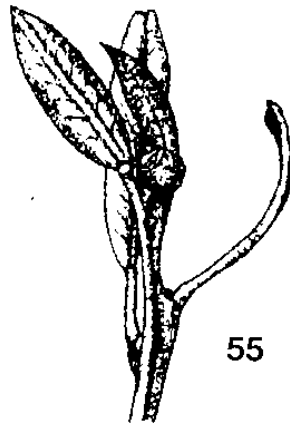
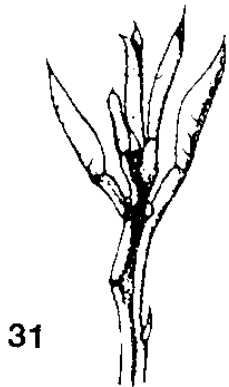
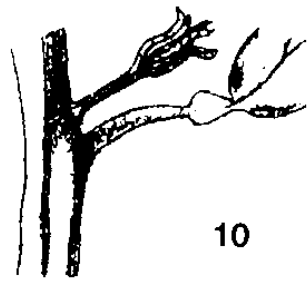
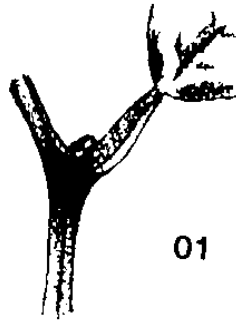
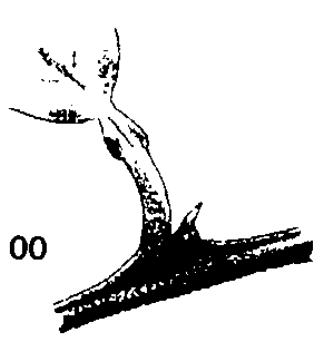
Estadio principal 8: Maduración del fruto

81	El fruto empieza a colorear (cambio de color)
83	El fruto está maduro para ser recolectado, aunque no ha adquirido todavía su color característico.
85	Maduración avanzada: se va incrementando el color característico de cada cultivar.
89	Fruto maduro y apto para el consumo: tiene su sabor y firmeza naturales; comienza la senescencia y la abscisión

Estadio principal 9: Comienzo del reposo vegetativo





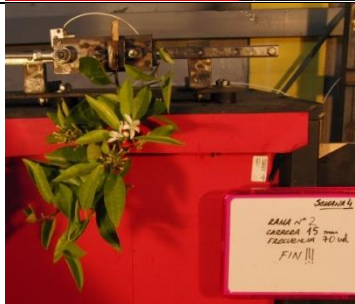



91	Las brotaciones han completado su desarrollo; hojas con su plena coloración verde
95	Las hojas verdes comienzan a caer
97	Reposo vegetativo







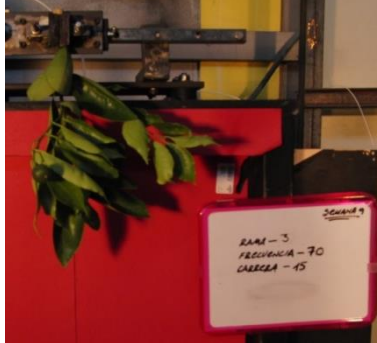


Agrios (Citrus spec.)





ANEJO 4:

Tabla resumen de los estadio para cada semana de ensayo

Semana		ESTADÍO	DESCRIPCIÓN	
1			56	Alto porcentaje de botones blancos.
2			56	El tamaño de los botones aumenta
3			59	Los botones blancos toman, en un alto porcentaje forma de bola hueca y alargada. Pequeño porcentaje de flores.
4			65	Plena floración. Alto porcentaje de flores abiertas.
5			67	Un alto porcentaje de flores se encuentran marchitadas.

6			71	Los frutos comienzan a cuajar. Pequeños frutos verdes de pequeño diámetro. Calibre medio: 6,4
7			72	Pequeños frutos verdes de diámetro un poco más grande. Calibre medio: 9,16
8			72	Pequeños frutos verdes de diámetro un poco más grande. Calibre medio: 10,2
9			72	Fruto verde
10			72	Fruto verde

11			72	Fruto verde
-----------	---	---	----	-------------