

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL

Programa de doctorado Recursos y Tecnologías Agrícolas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ivia
instituto valenciano
de investigaciones agrarias

Tesis doctoral

Recolección de cítricos con vibrador de troncos usando etefón. Efectos sobre la eficiencia de la operación, la calidad de la fruta y el estado de los árboles.

Directores

Dra. Chueca Adell, Patricia

Dr. Moltó García, Enrique

Autora

Moreno Pérez, Rosa Ana

Enero 2016



Resumen (Castellano)

España es el sexto productor y primer exportador de cítricos a nivel mundial para su consumo en fresco. Pese a ello, el sector cítrico español se enfrenta a una grave crisis económica, que en parte viene dada por los elevados costes de producción totales. Dentro de estos costes, el modo de recolección tradicional implantado, que es la recogida de la fruta a mano, es la operación que más encarece la producción de cítricos, ya que supone alrededor del 50% de estos costes debido al encarecimiento de la mano de obra. Los agricultores de la Comunidad Valenciana están viendo cómo sus rentas han disminuido de manera importante y en algunos casos, han tenido que tomar decisiones drásticas como el abandono del cultivo por no poder mantenerlo. Esto es bastante delicado teniendo en cuenta que nuestra comunidad es la mayor productora de cítricos del país, en particular de mandarinas, produciendo más del 80% del total nacional.

Una posible solución al problema sería la mecanización de la recolección. En Florida, donde la producción de cítricos se destina a la industria de transformación, desde hace años se está impulsando esta práctica y estudiando diferentes alternativas, por lo que parte de la recolección se hace de manera mecanizada. De todos los sistemas mecanizados, los vibradores de troncos podrían ser una opción por la gran cantidad de fruta que desprenden en poco tiempo, y porque, además, son equipos presentes en el mercado ya que se utilizan en otros cultivos, como, aceituna y frutos secos. La recolección mecanizada con vibradores de tronco se basa en realizar una serie de sacudidas a los árboles aparentemente violentas desde la base del tronco y por encima del injerto (si lo tuviese) durante un tiempo determinado. Estas vibraciones, dependiendo de la máquina, los operadores, las maniobras de la misma para alcanzar el tronco y las condiciones del cultivo, pueden causar daños a los árboles como el desprendimiento de las hojas, flores y frutos jóvenes, rotura de ramas y/o raspaduras de corteza. Además, con el fin de mejorar la eficiencia de derribo de los vibradores, en Florida se han evaluado ciertos compuestos químicos llamados abscisores, que reducen la fuerza de retención del pedúnculo del fruto, facilitando su desprendimiento. No obstante, su uso puede presentar una serie de inconvenientes como una defoliación importante, manchado de frutos, gomosis, muerte de las ramas, etc. Su efecto puede depender de las condiciones climáticas en el momento de la aplicación y de la sensibilidad de la variedad. Por otra parte, hay que tener en cuenta que la vibración de troncos como la aplicación de abscisores podría afectar al estado fisiológico de los árboles y al estado de la fruta por lo que es importante conocer su efecto en los mismos.

Por todo ello, el objetivo general de la tesis es proponer una solución mecanizada para la recolección tradicional de los cítricos mediante el uso de un vibrador de troncos y el empleo del abscisor etefón para ayudar al mismo en su labor de cosecha, teniendo en cuenta el destino de los frutos (mercado fresco o industria) y el sistema de plantación tradicional español. El fin último es aumentar la productividad de este proceso y con ello, la competitividad del sector cítrico español a nivel mundial. Para ello, se ha desglosado el objetivo general en varios específicos, como son: evaluar la eficiencia de la recolección con el vibrador de troncos y de aplicación del abscisor etefón en variedades de mandarina de distinta estación, híbridos y naranjas cuyo destino es el consumo en fresco bajo las condiciones edafo-climáticas mediterráneas, así como, analizar el efecto de la dosificación del abscisor sobre la calidad de los frutos recolectados, sobre el estado fisiológico de los árboles y la producción de los mismos. El último objetivo es dar recomendaciones sobre el uso comercial en los cítricos mediterráneos del vibrador de troncos y del etefón por separado y en conjunto como posible alternativa a la recolección manual de cítricos.

Los resultados de esta tesis muestran una elevada eficiencia en la recolección con vibrador de troncos en los cítricos cultivados bajo las condiciones agroclimáticas españolas, ya que se obtuvo un porcentaje de derribo de fruta de un 70-85% independientemente de la variedad estudiada, con un porcentaje mínimo de fruta sin cáliz (0.60-9.3%). Además apenas se produjo defoliación, ya que se derribaron entre 0.57-1.86 kg/hoja por árbol. Los daños ocasionados en la corteza y ramas de algunos árboles fueron leves y generados por una poda incorrecta de los árboles y por las maniobras necesarias por el vibrador para llegar al tronco. Por otro lado, el uso del abscisor etefón aumenta la cantidad de fruta derribada (un 21% en la mandarina Marisol, un 17% en naranjas Navel Lane Late y entre un 9-12% en las parcelas de Orogrande) pero a costa de incrementar la cantidad de fruta desprendida sin cáliz (en las dosis mayores un 5% más en Marisol, entre un 15-42% en las Orogrande y un 72% en Navel Lane Late) y la defoliación (en las dosis mayores entre 6-7 kg hojas/árbol en Navel Lane Late y Fortune y 2-4 kg hojas/árbol derribadas en el resto de variedades). Por otro lado, las aplicaciones del abscisor adelantaron el color de la corteza de los frutos en las variedades Marisol y Orogrande. Esto puede evitar el paso de desverdizado en cámara de la fruta. Las dosis aplicadas disminuyeron la fuerza de retención de los frutos en las variedades Orogrande, Marisol y Navel Lane Late, pero también ablandaron la fruta en las variedades Orogrande y Clemenules, así como la aparición de manchas en la corteza de algunos frutos de las variedades Orogrande, Marisol y Clemenules, aumentando el porcentaje de frutos manchados conforme lo hacía la dosis. En lo que respecta al estado fisiológico, se ha observado que la vibración y el etefón no tienen efecto sobre el estado hídrico de los árboles ni sobre el intercambio gaseoso o tienen un efecto temporal sobre este último en la variedad de mandarina temprana Marisol y en la naranja tardía Navel Lane Late. Tampoco se ha visto alterada la capacidad de interceptar la radiación fotosintéticamente activa por parte de la copa debida al etefón y a la vibración, a pesar de la defoliación producida. Sólo se ha visto una disminución a corto y largo plazo en la mandarina Orogrande debido al etefón, pero restableciendo su capacidad de interceptar luz de manera fisiológicamente normal, así como en la naranja tardía Navel Lane Late, causada por el etefón y la vibración. En cambio, sí que existe un efecto negativo del abscisor sobre la producción del año siguiente en las variedades estudiadas, y de la vibración en la variedad de naranja tardía.

En esta tesis se llega a la conclusión de que la recolección mecanizada con vibrador de troncos es una solución factible en los cítricos españoles en todas las variedades de mandarina, híbridos y de naranjas no tardías, destinados al mercado de consumo en fresco como para industria. Además de derribar gran cantidad de fruta en poco tiempo y con cáliz casi en su totalidad, apenas produce defoliación y/o daños en las ramas o corteza del tronco, sin afectación del estado fisiológico del árbol o tener un efecto temporal. Sin embargo, no se recomienda la vibración de troncos para las naranjas tardías en general, ya que la producción de la campaña siguiente se ve disminuida al presentar esta variedad flores y frutitos verdes en el momento de la recolección. El uso de etefón como un agente de abscisión aumenta la eficiencia de la recolección mecánica con vibrador excepto en las variedades Clemenules y Fortune, pero a costa de aumentar la cantidad de fruta derribada sin cáliz y la defoliación, conforme aumentaba la dosis. Por otro lado, el etefón ha generado manchas y deformación en la corteza de la fruta de algunas variedades depreciando su valor comercial para fresco, a pesar de no afectar a su calidad interna. La aplicación de la mayor dosis de etefón parece no afectar al árbol o tener un efecto temporal corto en el estado fisiológico en Marisol, Orogrande y Navel Lane Late, pero podría producir una ligera reducción de la producción en la siguiente campaña en mandarinas y

produce una gran reducción de la producción de la campaña siguiente en naranjas de maduración tardía, como Navel Lane Late, donde la fruta madura coexiste con frutitos de la próxima campaña.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta tesis, se recomienda no utilizar el etefón como un agente de abscisión en las variedades de cítricos Clemenules, Fortune y Navel Lane Late (variedades tardías en general) y sólo podría ser recomendada para los cítricos destinados a la industria de zumo y transformación en el caso de la variedad de mandarina Marisol.

Resum (Valencià)

Espanya és el sext productor i primer exportador de cítrics a nivell mundial per al seu consum en fresc. A pesar d'això, el sector cítricol espanyol s'enfronta a una greu crisi econòmica, que en part ve donada pels elevats costos de producció totals. Dins d'estos costos, el mode de recol·lecció tradicional implantat, que és l'arreplega de la fruita a mà, és l'operació que més encarix la producció de cítrics, ja que suposa al voltant del 50% d'estos costos a causa de l'encariment de la mà d'obra. Els agricultors de la Comunitat Valenciana estan veient com les seues rendes han disminuït de manera important i en alguns casos, han hagut de prendre decisions dràstiques com l'abandó del cultiu per no poder mantindre-ho. Açò és prou delicat tenint en compte que la nostra comunitat és la major productora de cítrics del país, en particular de mandarines, produint més del 80% del total nacional.

Una possible solució al problema seria la mecanització de la recol·lecció. En Florida, on la producció de cítrics es destina a la indústria de transformació, des de fa anys s'està impulsant esta pràctica i estudiant diferents alternatives, per la qual cosa part de la recol·lecció es fa de manera mecanitzada. De tots els sistemes mecanitzats, els vibradors de troncs podrien ser una opció per la gran quantitat de fruita que desprenen en poc de temps, i perquè, a més, són equips presents en el mercat ja que s'utilitzen en altres cultius, com, oliva i fruites seques. La recol·lecció mecanitzada amb vibradors de tronc es basa a realitzar una sèrie de sacssades als arbres aparentment violentes des de la base del tronc i per damunt de l'empelt (si ho tinguera) durant un temps determinat. Estes vibracions, depenent de la màquina, els operadors, les maniobres de la mateixa per a aconseguir el tronc i les condicions del cultiu, poden causar danys als arbres com el despreniment dels fulls, flors i fruits jòvens, ruptura de branques i/o raspatures de corfa. A més, a fi de millorar l'eficiència de derrocament dels vibradors, a Florida s'han avaluat certs compostos químics cridats abscisors, que reduïxen la força de retenció del peduncle del fruit, facilitant el seu despreniment. No obstant això, el seu ús pot presentar una sèrie d'inconvenients com una defoliació important, tacat de fruits, gomosis, mort de les branques, etc. El seu efecte pot dependre de les condicions climàtiques en el moment de l'aplicació i de la sensibilitat de la varietat. D'altra banda, cal tindre en compte que la vibració de troncs com l'aplicació d'abscisors podria afectar l'estat fisiològic dels arbres i a l'estat de la fruita pel que és important conèixer el seu efecte en els mateixos.

Per tot això, l'objectiu general de la tesi és proposar una solució mecanitzada per a la recol·lecció tradicional dels cítrics per mitjà de l'ús d'un vibrador de troncs i l'ocupació de l'abscisor etefón per a ajudar al mateix en la seua labor de collita, tenint en compte el destí dels fruits (mercat fresc o indústria) i el sistema de plantació tradicional espanyol. El fi últim és augmentar la productivitat d'este procés i amb això, la competitivitat del sector cítricol espanyol a nivell mundial. Per a això, s'ha desglossat l'objectiu general en diversos específics, com són: avaluar l'eficiència de la recol·lecció amb el vibrador de troncs i d'aplicació de l'abscisor etefón en varietats de mandarina de distint estació, híbrids i taronges el destí del qual és el consum en fresc davall les condicions edafo-climàtiques mediterrànies, així com, analitzar l'efecte de la dosificació de l'abscisor sobre la qualitat dels fruits recol·lectats, sobre l'estat fisiològic dels arbres i la producció dels mateixos. L'últim objectiu és donar recomanacions sobre l'ús comercial en els cítrics mediterrànies del vibrador de troncs i de l'etefón per separat i en conjunt com a possible alternativa a la recol·lecció manual de cítrics.

Els resultats de esta tesi mostren una elevada eficiència en la recol·lecció amb vibrador de troncs en els cítrics cultivats baix les condicions agroclimàtiques espanyoles, ja que es va obtenir un percentatge de derrocament de fruita d'un 70-85% independentment de la varietat estudiada, amb un percentatge mínim de fruita sense calze (0.60-9.3%). Ademés a penes es va produir defoliació, ja que es van derrocar entre 0.57-1.86 kg/fulla per arbre. Els danys ocasionats en la corfa i

branques d'alguns arbres van ser lleus i generats per una poda incorrecta dels arbres i per les maniobres necessàries pel vibrador per a arribar al tronc. D'altra banda, l'ús de l'abscisor etefón augmenta la quantitat de fruita derrocada (un 21% en la mandarina Marisol, un 17% en taronges Navel Lane Late, entre un 9-12% en les parcel·les d'Orogrande) però a costa d'incrementar la quantitat de fruita despresa sense calze (a les dosis majors un 5% més en Marisol, entre un 15-42% en les Orogrande i un 72% en Navel Lane Late) i la defoliació (a les dosis majors entre 6-7 kg fulles/arbre en Navel Lane Late i Fortune i 2-4 kg fulles/arbre derrocades en la resta de varietats). D'altra banda, les aplicacions de l'abscisor van avançar el color de la corfa dels fruits en les varietats Marisol i Orogrande. Açò pot evitar el pas de desverdat en cambra de la fruita. Les dosis aplicades van disminuir la força de retenció dels fruits de les varietats Orogrande, Marisol i Navel Lane Late, però també van ablanir la fruita en les varietats Orogrande i Clemenules, així com l'aparició de taques en la corfa d'alguns fruits de les varietats Orogrande, Marisol i Clemenules, augmentant el percentatge de fruits tacats conforme ho feia la dosi. En el que respecta a l'estat fisiològic, s'ha observat que la vibració i l'etefón no tenen efecte sobre l'estat hídric dels arbres ni sobre l'intercanvi gasós o tenen un efecte temporal sobre este últim en la varietat de mandarina primerenca Marisol i en la taronja tardana Navel Lane Late. Tampoc s'ha vist alterada la capacitat d'interceptar la radiació fotosintèticament activa per part de la copa deguda a l'etefón i a la vibració, a pesar de la defoliació produïda. Només s'ha vist una disminució a curt i llarg termini en la mandarina Orogrande a causa de l'etefón, però restablint la seua capacitat d'interceptar llum de manera fisiològicament normal, així com en la taronja tardana Navel Lane Late, causada per l'etefón i la vibració. En canvi, sí que hi ha un efecte negatiu de l'abscisor sobre la producció del any següent en les varietats estudiades, i de la vibració només en la varietat de taronja tardana.

En esta tesi s'arriba a la conclusió que la recol·lecció mecanitzada amb vibrador de troncs és una solució factible en els cítrics espanyols en totes les varietats de mandarina, híbrids i de taronges no tardanes, destinats al mercat de consum en fresc com per a indústria. A més de derrocar gran quantitat de fruita en poc de temps i amb calze quasi en la seua totalitat, a penes produïx defoliació y/o danys en les branques o corfa del tronc, sense afectació de l'estat fisiològic de l'arbre o tindre un efecte temporal. No obstant això, no es recomana la vibració de troncs per a les taronges tardanes en general, ja que la producció de la campanya següent es veu disminuïda al presentar esta varietat flors i fruitets verds en el moment de la recol·lecció. L'ús d'etefón com un agent d'abscissió augmenta l'eficiència de la recol·lecció mecànica amb vibrador excepte en les varietats Clemenules i Fortune, però a costa d'augmentar la quantitat de fruita derrocada sense calze i la defoliació, conforme augmentava la dosi. D'altra banda, l'etefón ha generat taques i deformació en la corfa de la fruita d'algunes varietats depreciant el seu valor comercial per a fresc, a pesar de no afectar la seua qualitat interna. L'aplicació de la major dosi d'etefón pareix no afectar l'arbre o tindre un efecte temporal curt en l'estat fisiològic en Marisol, Orogrande i Navel Lane Late, però podria produir una lleugera reducció de la producció en la següent campanya en mandarines i produïx una gran reducció de la producció de la campanya següent en taronges de maduració tardana, com Navel Lane Late, on la fruita madura coexistix amb fruitets de la pròxima campanya.

Tenint en compte els resultats obtinguts en esta tesi, es recomana no utilitzar l'etefón com un agent d'abscissió en les varietats de cítrics Clemenules, Fortune i Navel Lane Late (varietats tardanes en general) i només podria ser recomanada per als cítrics destinats a la indústria de suc i transformació en el cas de la varietat de mandarina Marisol.

Summary (English)

Spain is the sixth producer and leading exporter of citrus fruits worldwide for its fresh consumption. Despite this, the Spanish citrus sector is facing a serious economic crisis, which in part is given by the high costs of total production. Within these costs, implanted traditional harvest technique, which is the harvest of the fruit by hand, is the more expensive citrus production operation, since it accounts for around 50% of these costs because of the increase in the labour force. The farmers of the Valencian Community are seeing how their incomes have declined significantly and in some cases have had to take drastic decisions as the abandonment of orchard by not being able to keep it. This is rather delicate taking into account that our community is the biggest producer of citrus in the country, in particular of tangerines, producing more than 80% of the national total.

A possible solution to the problem would be the mechanization of harvesting. In Florida, where citrus production is intended for the processing industry, for years is driving this practice and studying different alternatives, by what part of the harvest becomes mechanized way. Mechanized systems, trunk shakers may be an option for the large amount of fruit detached in a short time, and because, in addition, are present on the market since they are used in other crops such as olives and nuts. Mechanical harvesting with trunk shakers is based on making a series of seemingly violent shaking the trees from the base of the trunk and above the graft (if any) over a period of time. These vibrations, depending on the machine, operators, maneuvering to reach the trunk and the growing conditions, can cause damage to the trees as the detachment of leaves, flowers and young fruits, break branches or scratching of bark. In addition, in order to improve the efficiency of detach of the shakers, in Florida have been assessed certain chemical compounds called abscission agents, which reduce the fruit retention force of the peduncle of the fruit, facilitating their detachment. However, use may present a series of drawbacks as a major defoliation, spotted fruit, gummosis, death of the branches, etc. Its effect may depend on the weather conditions at the time of the application and the variety sensitivity. On the other hand, should take into account that the vibration from trunks and the application of abscission agents could affect the physiological status of trees and the maturity state of the fruit so it is important to know its effect on them.

Therefore, the overall objective of the thesis is to propose a mechanized solution for traditional harvesting of citrus through the use of a trunk shakers and the use of ethephon as abscission agent to help it in its work of harvest, taking into account the destination of fruits (fresh market or industry) and Spanish traditional planting system. The purpose is to increase the productivity of this process and therefore the competitiveness of the Spanish citrus sector worldwide. To do so, has broken the general in various specific objective, such as: evaluate the efficiency of harvesting with trunk shaker and application of ethephon as abscission agent in varieties of mandarin from various station, hybrids and oranges whose destination is the consumption in fresh Mediterranean edapho-climatic conditions, as well as analyze the effect of the dosage of the ethephon above about the quality of the harvested fruits on the physiological status of the trees and the production of them. The ultimate goal is to give recommendations for commercial use in the Mediterranean citrus of the trunk shaker and ethephon separately and together as a possible alternative to the manual harvesting of citrus.

Results of this thesis demonstrate high efficiency of harvesting with trunk shaker citrus grown under Spanish agroclimatic conditions, because that was a percentage of detachment fruit of 70-85% independently on the variety studied, with a minimum percentage of fruit without calyx (0.60 - 9.3%). Furthermore, defoliation was very low, since they were detached between 0.57-1.86 kg/leaf per tree. Damage caused in the bark and branches of some trees were minor and generated by an

incorrect pruning of the trees and the necessary maneuvers by the shaker to the trunk. On the other hand, the use of the ethephon increases the amount of fruit thrown down (21% in the mandarine Marisol, 17% in Navel Lane Late oranges, and between 9-12% in Orogrande plots) but at the expense of a high quantity of fruit detached without calyx (in the higher doses 5% more on Marisol, between 15-42% in the Orogrande and 72% in Navel Lane Late) and defoliation (in the higher doses between 6-7 kg leaf/tree in Navel Lane Late and Fortune and 2-4 kg leaf/tree toppled in the rest of the varieties). On the other hand, the ethephon applications ahead of the color of the bark of the fruits in the Marisol and Orogrande varieties. This can prevent the passage of degreening in camera of the fruit. Applied doses decreased the fruit retention force in Orogrande, Marisol and Navel Lane Late varieties, but also softened fruit in Orogrande and Clemenules varieties, as well as the appearance of spots on the bark of some fruits of Orogrande, Marisol and Clemenules varieties, increasing the percentage of stained fruit as the dose did. Concerning the physiological state, has been observed that the vibration and ethephon have no effect on the water status of trees or on gas exchange or have a temporary effect on the latter in the variety of early mandarine Marisol and in the late maturing orange Navel Lane Late. Neither has been disrupted the ability of intercepted photosynthetically active radiation by the cup due to ethephon and vibration, despite produced defoliation. Only seen a decrease in short and long term in Orogrande due ethephon, but restoring its ability to intercept light in physiologically normal way, as well as in the Navel Lane Late variety, caused by ethephon and vibration. On the other hand, does exist a negative effect of the abscission agent on yield of the following season in the varieties studied, and vibration only in the late maturing orange variety.

In this thesis it concludes that mechanized harvesting with trunk shaker is a feasible solution in Spanish citrus in all mandarines varieties, hybrids and not late oranges, destined for both fresh consumption market and industry. In addition to detach large amount of fruit in a short time and with calyx almost in its entirety, it produces minimal defoliation and/or damage on branches or bark of the trunk, without involvement of the physiological status of the tree or have a temporary effect. However, is not recommended the vibration of late oranges in general, since yield of the following marketing year diminished is to present this variety flowers and green fruit at harvest time. The use of ethephon as an abscission agent increases the efficiency of mechanical harvesting with trunk shaker except in Clemenules and Fortune varieties, but at the cost of increasing the amount of fruit detached without calyx and defoliation, as the dose was increased. On the other hand, ethephon has generated stains and deformation in the bark of fruit varieties depreciating its commercial value for fresh, despite not to affect their internal quality. The highest dose of ethephon application seems not to affect the tree or have a short temporary effect on the physiological status in Marisol, Orogrande and Navel Lane Late varieties, but may produce a slight reduction of yield in the following season in mandarins and produces a great reduction of the yield of the following marketing season in late-maturing oranges, like Navel Lane Late, where the ripe fruit coexists with fruit of the next season.

Taking into account the results obtained in this thesis, it is recommended not use ethephon as an abscission agent in Clemenules, Fortune and Navel Lane Late (late varieties in general) citrus varieties and could only be recommended for the citrus industry of juice and transformation in the case of Marisol mandarin variety.

Agradecimientos

Es difícil elegir por quién empezar a agradecer, o más bien todo lo contrario, ya que en mi caso, prácticamente es un todo. Gracias a tod@s los que habéis estado apoyándome en cada uno de los días tan duros que he tenido en estos tres años y medio largos de lucha personal. Cada mensaje, cada abrazo, cada visita, cada “sacarme de mi casa y darme ánimos”, cada chute de energía positiva vital que he recibido, hacen que hoy pueda estar escribiendo estas palabras y en su día, de pie, defendiendo esta tesis, como si nada hubiera pasado. O mejor dicho, con una defensa de vida hecha ya, que hace que todo sea lo siguiente a relativo. Así que, por qué no, gracias cáncer, por hacerme más feliz de lo que era. Ironías de la vida, pero ironías dulces. Gracias a la vida, por las oportunidades que me has dado y me sigues dando.

Gracias a mis directores de tesis, la Dra. Patricia Chueca Adell y el Dr. Enrique Moltó García, por todo lo aprendido y por apostar por mí. Por hacer las cosas bien. Y cómo no, por su paciencia con esta avisilla/rabillo de lagartija que soy. Gracias de corazón, porque también entráis dentro del tod@s anterior, como los que vienen a continuación.

A Toni Torregrosa y compañía, la Unidad de Mecanización y Tecnología Agraria de la UPV. Por fin esto verá la luz después de tanto esfuerzo.

A las empresas y personas que han participado en esta investigación: Fontestad S.A., Cheste Agraria Cooperativa y Deygesa S.L.

A mis compi-amigos del Centro de Agroingeniería del IVIA: Rafeta (empezamos juntos esto y una amistad forever and ever), Ramón (acabamos juntos esto, VIP friend forever and “la niña bonita”), Iván, Sento, Belinda, Cruz (la de campo y laboratorio que hemos tenido, sobretodo Iván, criatura ;P), Serch, Ana, Mamen, Delia, María (menudas hemos montado todas juntas y cómo me habéis animado), Borja, Juanjo, José Ramón, José Blasco... (si me dejo a alguien, que se apunte solo).

A mis chicos del Departamento de Riegos del IVIA (Carlos, Nacho, Edu, Diego, Diego Intrigliolo) que tantas horas han echado por mis ensayos y por lo bonicos que son, en especial Carlos Ballester Lurbe, porque There is always hope.

A Schmilo y Haviva, que siempre están en mi corazón.

A todos los del IVIA que me tienen afecto y me lo demuestran cada vez que me ven.

A mis mandarinos y naranjos, por dejarme “hacerles cosas”.

A mi Camino de Santiago, que me hizo sentir una experiencia increíble, repetible y que se me “sanó” como sólo puede hacerlo él. Mi primer viaje sola, pero en el que nunca estás sola.

Gracias a todos los miembros de Oncología y Traumatología del Hospital General Provincial de Valencia que se han cruzado en mi vida. A la enfermera que me dijo en la primera operación “aquí también estamos para limpiar tus lágrimas”, mientras lo hacía antes de dormirme por la anestesia, a mi amiga-enfermera Sabi y sobre todo a mi cirujano, Víctor Zarzuela Sánchez, por salvarme la vida y la pierna tres veces. Espero que la próxima vez que tengamos que pasar tantas horas juntos sea en un bar con unas cervezas delante y no en un quirófano. Sé que tú también lo esperas y que me adoras tanto como yo a ti.

A mi fisio-amiga Amparo, que sin ti no iría tan tiesa por ahí y no dejaríamos flipando al cirujano por los logros conseguidos.

A mis pelonas (Betí, Ana Abarca, Auxi, Ana (la vecina más famosa del mundo mundial y Elena Poveda), por estar siempre ahí, con nuestra fosa creciente y con vuestro amor infinitol... a mis monchis, mis bicarbonatos y fosfatinas, a la bruja Lola y a su primo el Universo, a Macaula, Noe y Edu.

A mi monchiyellowpelon, Elena Poveda, por tantos abrazos y momentos antes y después de mi alien, y por sacarme sonrisas kintoterapéuticas.

A mi yatusabes (el de los regalos, por estar siempre conmigo y hacerme subir los escalones más grandes que hay por España y hacerme ver que puedo hasta correr y conseguir lo que me proponga)...

A ti, mi "pata chula", por aguantar como una bellaca todo lo que te han hecho y lo que te queda que te haga yo para estar siempre "On fire!". Asias amore. A todos mil asias por hacerme reír y sentir tan bien con o sin kintoterapia (hasta en el hospital).

Y sobretodo, a mi familia. A mis padres, que gracias a ellos soy lo que soy. Por su eterno e inagotable amor. Por los valores y la educación que me han dado, por ser los pilares de mi vida y los espejos en los que mirarme para saber lo que es ser noble de corazón. A mis hermanos y a las ardillas de mis sobrinas, por estar conmigo siempre, ayudarme en los momentos más difíciles que he vivido dentro y fuera del hospital y hacerme feliz y la vida más sencilla. Y a mis hij@s de cuatro patas: Yacko (el primer amor de mi vida), Vera (mi gorda negra), Kinto y Tapa (mis gatiperros) y mi Golfo (mi mordisquitos de amor), que tanto me han dado sin pedir nada a cambio y que no creo poder tener vida suficiente para devolverlo con creces y ojalá tod@s viviérais como poco el mismo tiempo que yo y no os fuérais antes.

A todos vosotr@s, gracias por existir.

A mis padres, por hacer tanto con tan poco.

Porque entre creer y crear sólo hay una letra de diferencia.

(Albert Espinosa, *El mundo amarillo*)

[...] Mientras la niña crecía, Eusebio Beltrán emprendió diversos negocios, algunos rentables y otros francamente descabellados. Era hombre provisto de imaginación sin frontera y la mejor prueba de ello fue su máquina tumbacocos. Un día leyó en una revista que la recolección manual aumentaba mucho el costo de esa fruta. El nativo de turno debía trepar a la palmera, sacar el coco y volver a bajar. Subiendo y bajando se perdía tiempo y algunos caían desde lo alto ocasionando gastos imprevistos. Estaba decidido a encontrar una solución. Pasó tres días encerrado en su oficina atormentado por el problema de los cocos, que dicho sea de paso, él no conocía ni de cerca, porque en sus viajes había descartado el trópico y en su casa no se consumían alimentos exóticos. Pero se informó. Estudió el diámetro y peso del fruto, el clima y el terreno adecuado para su cultivo, la época de la cosecha, el tiempo de maduración y otros detalles. Luego lo vieron muchas horas trazando planos y el resultado de tanto desvelo fue la invención de una máquina capaz de recolectar un número sorprendente de cocos por hora. Fue al Registro y patentó aquella torre rampante provista de un brazo retráctil, en medio de las risotadas de sus familiares y amigos, quienes tampoco conocían los cocos en su estado primitivo y sólo los habían visto coronando el sombrero de las bailadoras de mambo o rallados sobre los pasteles de boda. Eusebio Beltrán profetizó que un día su máquina tumbacocos serviría para algo y el tiempo le dio la razón.

(Isabel Allende, *De amor y de sombra*)

ÍNDICE

1.- IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS CÍTRICOS Y SITUACIÓN DE LA RECOLECCIÓN EN ESPAÑA	1
2.- ASPECTOS GENERALES DE LA RECOLECCIÓN MECANIZADA	2
2.1.- PLATAFORMAS DE ASISTENCIA A LA RECOLECCIÓN	3
2.2.- VIBRADORES.....	4
2.2.1.- Máquinas vareadoras.....	5
2.2.2.- Máquinas recolectoras integrales basadas en vareadoras o cosechadoras.....	6
2.2.3.- Vibradores de tronco y ramas.....	7
2.3.- NECESIDAD DE AGENTES ABSCISORES	9
3.- GENERALIDADES SOBRE LA ABSCISIÓN FISIOLÓGICA.....	10
3.1.- PAPEL DE LAS HORMONAS EN LA ABSCISIÓN: AUXINA/ETILENO	11
3.2.- ABSCISORES. DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES	12
3.2.1.- Dikegulaco (ácido 2,3:4,6-di-O-isopropilideno- α -L-xilo-2-exulofuranoico)	13
3.2.2.- Prosulfurón y metsulfurón-metil e imazameth.....	14
3.2.3.- Coronatina.....	15
3.2.4.- Ácido jasmónico y derivados.....	16
3.2.5.- CMN-P (5-cloro-3-metil-4-nitro-1 <i>H</i> pirazol).....	17
3.2.6.- Etefón (ácido 2-cloroetilfosfónico)	17
3.3.- COMPUESTOS PALIATIVOS A LA DEFOLIACIÓN CAUSADA POR LOS ABSCISORES	19
4.- ANTECEDENTES SOBRE EL EFECTO DE LA VIBRACIÓN Y LA APLICACIÓN DE ABSCISORES SOBRE LOS FRUTOS Y EL ESTADO FISIOLÓGICO DE LOS CÍTRICOS	21
4.1.- EFECTO DE LA VIBRACIÓN SOBRE EL ÁRBOL Y SU ESTADO FISIOLÓGICO	21
4.2.- EFECTO DE LOS ABSCISORES SOBRE LOS FRUTOS	22
4.3.- EFECTO DE LOS ABSCISORES SOBRE EL ESTADO FISIOLÓGICO	23
5.- OBJETIVO DE LA TESIS	25
6.- MATERIALES Y MÉTODOS	26
6.1.- DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS. TRATAMIENTOS Y FECHAS.....	26
6.2.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON LA EFICIENCIA DE LA RECOLECCIÓN.	34
6.2.1.- Análisis de los datos	35
6.3.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL ESTADO DE LA FRUTA	37
6.3.1.- Análisis de los datos	41
6.4.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL ESTADO FISIOLÓGICO.....	43

6.4.1.- Análisis de los datos	46
6.5.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN	48
6.5.1.- Análisis de los datos	48
7.- RESULTADOS	50
7.1.- EFICIENCIA DEL VIBRADOR DE TRONCOS SIN LA APLICACIÓN DE ETEFÓN	50
7.1.2.- Porcentaje de fruta derribada (%)	50
7.1.3.- Porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%)	52
7.1.4.- Defoliación (kg hoja/árbol)	54
7.2.- EFICIENCIA DE LA RECOLECCIÓN CON LA APLICACIÓN DE ETEFÓN	56
7.2.1.- Porcentaje de fruta derribada (%)	56
7.2.3.- Porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%)	57
7.2.4.- Defoliación (kg hoja/árbol)	57
7.3.- ESTADO DE LA FRUTA EN EL MOMENTO DE LA RECOLECCIÓN Y EFECTO DEL ETEFÓN SOBRE SU CALIDAD INTERNA Y EXTERNA	58
7.3.1.- FRF (N)	58
7.3.2.- ICC	61
7.3.3.- Porcentaje de deformación de la corteza (%)	65
7.3.4.- IM	67
7.3.5.- Porcentaje de manchas (%)	69
7.4.- EFECTO DE LA VIBRACIÓN Y DEL ETEFÓN SOBRE EL ESTADO FISIOLÓGICO DE LOS ÁRBOLES	72
7.4.1.- Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo})	72
7.3.2.- Conductancia estomática (g_s)	75
7.3.3.- Fotosíntesis neta (A_{CO_2})	78
7.3.4.- Transpiración (E_i)	81
7.3.5.- Porcentaje de interceptación de radiación fotosintéticamente activa de la copa (F_{PAR})	84
7.6.- EFECTO DEL ETEFÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA MISMA CAMPAÑA DE LA APLICACIÓN Y EFECTO DEL ETEFÓN Y EL VIBRADOR DE TRONCOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA CAMPAÑA SIGUIENTE	88
8.- DISCUSIÓN	92
9.- CONCLUSIONES	104
10.- BIBLIOGRAFÍA	108
11.- ANEJOS	121
11.1.- VARIABLES DE ESTADO FISIOLÓGICO	121
11.1.1.- El estado hídrico de la planta. Potencial hídrico	121
11.1.2.- Intercambio gaseoso de las hojas. Conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis neta	123

11.1.3.- Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa	125
---	-----

Índice de tablas

Tabla 1.- Características de las parcelas: localización, edad, marco de plantación y volumen de vegetación de copa (*).	27
Tabla 2.- Volumen de caldo, datos meteorológicos y características operativas del vibrador en cada parcela y campaña. (<i>VM: Volumen mayor, Vm: Volumen menor; T^a: Temperatura, HR: Humedad relativa, P: Pluviometría; F: Frecuencia; A: Amplitud; T: Tiempo de vibración.; Días Pul-Rec: Días transcurridos desde la pulverización hasta la recolección</i>).....	28
Tabla 3.- Tratamientos llevados a cabo en el ensayo. <i>NT: árboles no tratados (pulverizados con agua+adyuvante). ET: árboles tratados con etefón; RM: árboles recolectados a mano; RV: árboles recolectados con vibrador de troncos. 1, 2, 3, y 4: Dosis resultantes de la combinación del volumen de caldo y la concentración aplicada en cada variedad</i>	34
Tabla 4.- Porcentaje de fruta derribada (%) (Media ± ES) en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.....	51
Tabla 5.- Porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) (Media ± ES) en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.	53
Tabla 6.- Defoliación producida (kg/hojas/árbol) (Media ± ES) en función de la variedad, la campaña y la dosis de aplicada.	55
Tabla 7.- FRF (N) (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.....	60
Tabla 8.- ICC (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.	62
Tabla 9.- Deformación de la corteza (%) (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.	66
Tabla 10.- IM (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.	68
Tabla 11.- Fruta con manchas (%) (Media±ES) en el momento de recolección, en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.	70
Tabla 12.- Evolución temporal del porcentaje de la fracción de radiación interceptada (%) (FPAR) (Media±Error estándar) en cada parcela de cítrico ensayada, en función del tratamiento. Parcelas: A) Parcela 1 de Orogrande, B) Parcela 2 de Orogrande, C) Marisol, D) Clemenules, E) Navel Lane Late y F) Fortune.....	87
Tabla 13.- Producción (kg/árbol) (Media±ES) obtenida para los diferentes tratamientos en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol y Navel Lane Late en la campaña siguiente a las aplicaciones. <i>RM: Recolección manual; RV: Recolección con vibrador. (Media±ES) como una función de Dosis de etefón (mg/L) y Técnica de recolección en las parcelas Orogrande (1 y 2), Marisol y Navel Lane Late' en la campaña siguiente de ensayo</i>	111
ANEJO DE TABLAS A. RESULTADOS REGRESIÓN.	127
Tabla R1.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada (%) en la campaña 09-10 tras la aplicación de etefón (*). <i>D: Dosis (mg/árbol)</i>	127
Tabla R2.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada (%) en la campaña 10-11 tras la aplicación de etefón (*). <i>D: Dosis (mg/árbol)</i>	128
Tabla R3.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada (%) en las tres campañas ensayadas (08-09, 09-10 y 10-11) de la parcela Orogrande A tras la aplicación de etefón (*). <i>D: Dosis (mg/árbol)</i>	128
Tabla R4.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) en la campaña 09-10 tras la aplicación de etefón (*). <i>D: Dosis (mg/árbol)</i>	129

Índice de tablas

Tabla R5.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) en la campaña 10-11 tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol).....	130
Tabla R6.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) en las tres campañas ensayadas (08-09, 09-10 y 10-11) de la parcela Orogrande 1 tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol).....	130
Tabla R7.- Resultados del análisis de regresión para la defoliación producida (kg hojas/árbol) en todas las parcelas y años de ensayo tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol).	131
Tabla R8.- Resultados de los análisis de regresión para la FRF(N) en todas las parcelas y campañas de ensayo tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p>0.05$	132
Tabla R9.- Resultados de los análisis de regresión para el ICC en todas las parcelas y campañas de ensayo tras y antes de la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p>0.05$	133
Tabla R10.- Resultados de los análisis de regresión para el porcentaje de deformación de la corteza (%) en todas las parcelas y campañas de ensayo tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p>0.05$	135
Tabla R11.- Resultados de los análisis de regresión para el IM en todas las parcelas y campañas de ensayo tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p>0.05$	136
Tabla R12.- Resultados de los análisis de regresión para el porcentaje de fruta con manchas (%) en las parcelas y campañas de ensayo en las que se contabilizaron tras la aplicación de etefón (*). <i>D</i> : Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p>0.05$	137
Tabla R13.- Significación de la regresión lineal para la producción (kg/árbol) como función de la <i>dosis de etefón</i> (mg/L) en árboles recolectados mecánicamente en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en la primera campaña de ensayos. Producción (Media±ES) obtenida por cada dosis en cada parcela.	138
Tabla R14.- Resultados obtenidos de los análisis de Regresión Lineal Múltiple (RLM): significación del modelo y coeficientes de regresión para producción (kg/árbol)	139
Tabla R15.- Estimación y evaluación de las pérdidas de producción y económicas basadas en los coeficientes de regresión.	140
ANEJO DE TABLAS B. RESULTADOS ANOVA.....	142
TablaA1.- Resultados de los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento sobre el potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada (Ψ_{tallo} , MPa) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales. En las parcelas en las que no se observaron diferencias visuales, se indica como NDV (no diferencias visuales).	142
TablaA2.- Diferencias significativas* encontradas en los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento en conductancia estomática (g_s , $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales. En las parcelas en las que no se observaron diferencias visuales, se indica como NDV (no diferencias visuales).	143
Tabla A3.- Diferencias significativas* encontradas en los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento en la fotosíntesis neta (A_{CO_2} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales.	144

Índice de tablas

Tabla A4.- Diferencias significativas* encontradas en los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento en la transpiración de la hoja (E_i , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales.	145
---	-----

Índice de figuras

Índice de figuras

Figura 1.- Plataforma de recolección.	3
Figura 2.- Máquina vareadora.	6
Figura 3.- <i>Arriba.</i> Vibrador de ramas. <i>Abajo.</i> Vibrador de troncos.	8
Figura 4.- <i>Arriba.</i> Aplicación del etefón en diferentes parcelas. <i>Abajo.</i> Detalle del punto de goteo y de la escorrentía del etefón.	30
Figura 5.- Vibrador de troncos utilizado en los ensayos y detalle de cómo la pinza abraza al tronco para realizar la vibración.	32
Figura 6.- Derribo de fruta y hojas sobre lonas amortiguadoras.	32
Figura 7.- <i>Izquierda.</i> Fruta derribada con cáliz. <i>Derecha.</i> Fruta derribada sin cáliz.	35
Figura 8.- Determinación de la FRF con el dinamómetro.	38
Figura 9.- Toma de lectura del color de la corteza.	39
Figura 10.- Ensayo de compresión para determinar los mm de corteza deformados.	40
Figura 12.- <i>Izquierda.</i> Valorador automático trabajando para determinar la acidez titulable de las muestras. <i>Derecha.</i> Refractómetro digital calculando los °Brix.	41
Figura 13.- Medida del potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada con la cámara a presión.	44
Figura 14.- Medida de la conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración con el medidor de intercambio gaseoso.	45
Figura 15.- Medida de la interceptación de PAR por parte de la copa con el ceptómetro.	46
Figura 16.- Ejemplo de la relación entre el ICC (Medias \pm ES) y la dosis de etefón. Resultados de la parcela Orogrande 1 en las tres campañas.	63
Figura 17.- Interacción entre la dosis aplicada y la campaña para el ICC antes de los tratamientos en la variedad Navel Lane Late. Intervalos LSD con un nivel de confianza del 95%.	64
Figura 18.- <i>Arriba.</i> Frutos no tratados con etefón que no presentaron manchas. <i>Abajo.</i> Frutos tratados con la segunda y mayor dosis de etefón (izquierda y derecha respectivamente) que presentaron manchas en la corteza y un halo blanquecino debido al secado de las gotas de producto acumulado.	71
Figura 19.- Evolución del potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada (Ψ_{tallo} , MPa) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las flechas hacia arriba indican la fecha de recolección.	74
Figura 20.- Evolución de la conductancia estomática (g_s , $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las fechas hacia arriba indican la fecha de recolección.	77
Figura 21.- Evolución de la fotosíntesis neta (A_{CO_2} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las fechas hacia arriba indican la fecha de recolección.	80

Índice de figuras

Figura 22.- Evolución de la transpiración de la hoja (E_l , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las fechas hacia arriba indican la fecha de recolección. 83

Glosario

Símbolos y abreviaturas

ZA	Zona de abscisión
ABA	Ácido abscísico
MJ	Metil jasmonato
CMNP	5-cloro-3-metil-4-nitro-1H pirazol
1-MCP	1-metilciclopropeno
ppm	partes por millón
Or 1	Orogrande 1
Or 2	Orogrande 2
V_M	Volumen mayor
V_m	Volumen menor
P	Pluviometría
F	Frecuencia
A	Amplitud
T	Tiempo de vibración
Días Pul-Rec	Días transcurridos entre la pulverización y la recolección
MPa	Megapascal
T^a	Temperatura (°C)
HR	Humedad Relativa (%)
Hz	Hercio o hertz
N	Newton
kg	kilogramo
FRF	Fuerza de retención del fruto
ICC	Índice de color de la corteza
IM	Índice de Madurez
Ψ_{tallo}	Potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada al mediodía solar (MPa)

Glosario

g_s	Conductancia estomática ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
A_{CO_2}	Fotosíntesis neta o tasa neta de asimilación de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
E_l	Transpiración de la hoja ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
F_{PAR}	Fracción de radiación activa fotosintéticamente
NT	Árboles no tratados con etefón
ET	Árboles tratados con etefón
RM	Árboles recolectados manualmente
RV	Árboles recolectados con vibrador de troncos
ANOVA	Análisis de la Varianza
LSD	Least Square Difference
RLM	Regresión Lineal Múltiple

1.- IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS CÍTRICOS Y SITUACIÓN DE LA RECOLECCIÓN EN ESPAÑA

El cultivo de los cítricos es muy importante a nivel mundial, produciendo alrededor de 131 millones de toneladas anualmente. Una de las zonas productoras más importantes es la cuenca del Mediterráneo, contribuyendo con el 18% de la producción total de cítricos y con más del 50% de la exportación de cítricos (FAO, 2011, 2012). España es el sexto productor y el primer país exportador de cítricos para su consumo en fresco a nivel mundial, con un total de 6.500.000 t (CLAM, 2013). Teniendo en cuenta los países del Mediterráneo, España es el primer productor y exportador cítrico.

La Comunidad Valenciana es la mayor productora de cítricos del país, sobre todo de mandarinas, de las que produce más del 80% del total nacional (MAGRAMA, 2012), lo que indica la enorme importancia para la economía nacional. El cultivo de los cítricos en nuestra Comunidad supone una ocupación de 180.456 ha (el 30% de la superficie agrícola de la Comunidad). Sin embargo, pese a su importancia económica y social, las rentas de los agricultores de la Comunidad Valenciana están sufriendo grandes reducciones. La reducción de las rentas percibidas por los agricultores se debe, principalmente a dos causas. Por un lado, se observa un incremento constante de los costes de producción, debido al aumento de los precios de los bienes de equipo, de las materias primas y, sobre todo, de la mano de obra. Paralelamente, los precios percibidos se mantienen prácticamente constantes, e incluso bajaron entre 1999 y 2007 (fuentes: MAPA, serie 1990-2004; CAPA, años 2001-2007) y continúan haciéndolo (MAGRAMA, 2015). Esta crisis es el resultado de las diferencias en las políticas agrícolas en los países de la cuenca mediterránea (países de la UE y no UE), dando lugar a una fuerte competencia que está afectando a la dinámica de crecimiento del sector de los cítricos del Mediterráneo (Schimmenti *et al.*, 2013). Esta alta competencia está teniendo un efecto claro sobre la reducción del precio de la fruta, que está

Introducción

haciendo difícil el mantenimiento de los campos y, finalmente, la supervivencia de la industria citrícola española.

Los costes de producción de cítricos en España son muy elevados, de hecho superan ampliamente los costes de producción de los países competidores en mercados exteriores, como es el caso de EE.UU (Florida o California) o incluso de los países que compiten directamente en el mercado europeo como Marruecos, Egipto o Israel (Juste *et al.*, 2000).

Dentro del proceso de producción citrícola, la recolección es una fase de enorme importancia económica debido a que es la labor que más influye en los costes finales del cultivo. En España se realiza de manera manual y supone el 29% de los costes totales de producción de naranjas y el 43% de mandarinas en Andalucía (Junta de Andalucía, 2014a,b) pudiendo ser en otras regiones hasta 10 veces mayor que en los países competidores, en los que la mano de obra es muy barata (Juste *et al.*, 2000). Mecanizar la recolección aumentaría la productividad, proporcionando al empresario agrario un mayor margen de beneficios, siempre que éste se implique en el proceso.

2.- ASPECTOS GENERALES DE LA RECOLECCIÓN MECANIZADA

El uso que se vaya a hacer de la fruta recolectada condiciona fuertemente el método de recolección. La fruta que se destina a industria admite la presencia de cierto tipo y cantidad de daños externos. Por el contrario, la fruta destinada al consumo en fresco es más delicada, no debe presentar ningún tipo de defecto de aspecto o interno y debe conservar el cáliz. Prácticamente toda la producción valenciana de cítricos se destina a este mercado.

La mecanización de la recolección podría suponer una reducción de costes. Actualmente existen diferentes sistemas de recolección mecanizada, que son los que se presentan a continuación.

2.1.- PLATAFORMAS DE ASISTENCIA A LA RECOLECCIÓN

Uno de los sistemas mecanizados que da un trato más cuidadoso a la fruta y, por tanto, garantiza su destino al mercado en fresco, son las plataformas de asistencia. Generalmente son máquinas autopropulsadas, que sirven para transportar a los operarios y facilitarles el acceso a todas las partes del árbol, de manera que éstos solo se dedican a recoger los frutos y a depositarlos directamente en un dispositivo de transporte. Las variantes más interesantes incluyen dispositivos que van cargando el producto en palots o en cajas. También pueden estar provistas de sistemas que facilitan o realizan automáticamente la carga y descarga de estos envases sobre el terreno. Las plataformas también sirven para ayudar a los operarios durante la poda.

Existen en el mercado plataformas múltiples con brazos regulables a distintas alturas, que se sitúan a los lados de la máquina (**Figura 1**).



Figura 1.- Plataforma de recolección.

Los operarios depositan la fruta que van recolectando sobre las cintas transportadoras que soportan los brazos. Un sistema central recoge la fruta de las cintas y la transporta hasta un mecanismo de llenado automático de los recipientes de carga (palots o cajas paletizables) situado en la parte trasera de la máquina. Los brazos laterales son regulables lo que permite una mejor adaptabilidad a la posición momentánea de los operarios. Tienen un gran nivel tecnológico, e incrementan considerablemente los rendimientos de

Introducción

recolección. Se utilizan ampliamente en la recolección de manzanas y peras. En Florida se han empleado en la recolección de cítricos obteniendo un aumento de la productividad entre un 30-40% (Brown, 2005). El Centro de Agroingeniería del IVIA, junto con la empresa Argilés Disseny i Fabricació ha desarrollado una máquina para la recolección y la poda de cítricos, adaptada a las condiciones cítricas españolas, que también es capaz de realizar en el campo una clasificación de la fruta recolectada en tres clases diferentes en función del peso, utilizando un sistema de pesaje electrónico basado en células de carga, y en color, utilizando un sistema de visión artificial. (Gutiérrez *et al.*, 2012) (**Figura 2**).



Figura 2.- Plataforma de recolección autopropulsada diseñada en el IVIA.

2.2.- VIBRADORES

Otro tipo de equipos que se emplean en la recolección de cítricos con un grado mayor de mecanización pero que dan un menor cuidado a la fruta son los vibradores. En Florida se investigó la posibilidad de utilizar los vibradores en cítricos ya en los años 60. Existen diferentes tipos de vibradores: mediante corrientes de aire, de dedos, de tronco, de ramas, etc. (Sumner, 1973; Whitney y Wheaton, 1987; Whitney, 1997; Peterson, 1998; Ebel *et al.*, 2010) Los cítricos presentan una corteza gruesa, lo que los hace menos susceptibles a recibir daños por golpes que otros frutos. Dado que el desprendimiento es poco selectivo,

pueden tener efectos negativos sobre la producción, sobre todo en las variedades de naranja tardía, como es el caso de la variedad Valencia, ya que en el momento de la cosecha en los árboles se encuentran tanto frutos maduros como frutos jóvenes de la temporada siguiente (Coppock *et al.*, 1969; Whitney, 1995, 2003).

A continuación, se describen los diferentes tipos de máquinas vibradoras existentes.

2.2.1.- Máquinas vareadoras

Los vibradores de dedos, también denominados máquinas vareadoras (**Figura 3**), se emplean en la industria del zumo de Florida. Son máquinas que golpean las ramas horizontalmente, gracias a un sistema de varas que vibran perpendicularmente sobre un eje vertical y rotan debido a la fricción con los árboles. Pueden trabajar en grupos de dos, atacando cada árbol desde las dos caras que dan sobre las filas y recogiendo al mismo tiempo la fruta desprendida. Estas máquinas son adecuadas para plantaciones preparadas para la mecanización de vegetación continua. Tienen una limitación de su efecto en altura, siendo aconsejables para copas de 5-6 m de alto, con un diámetro de 2-3 m. La primera rama debe estar a 75 cm sobre el suelo y la falda debe permitir un espacio libre de 45 cm. Su rendimiento alcanza los 200-400 árboles/h (Brown, 2005).



Figura 3.- Máquina vareadora.

Asimismo, existen vareadoras que trabajan solamente un lado del árbol y desprenden la fruta sobre el suelo, de modo que se necesita una operación de recogida adicional. Son adecuadas para plantaciones no adaptadas, con vegetación aislada y faldas más bajas. Pueden alcanzar alturas de copa y diámetros similares a las anteriores, aunque su rendimiento es menor (100-200 árboles/h) (Brown, 2005). Además hay que tener en cuenta que luego hay que realizar la operación de recogida de los frutos del suelo.

2.2.2.- Máquinas recolectoras integrales basadas en vareadoras o cosechadoras

Una variante de las anteriores máquinas serían las recolectoras integrales o máquinas cabalgantes (**Figura 4**), como las cosechadoras de viña y olivo o sacudidores de follaje similares a los utilizados con frutos pequeños en baya. En cítricos, se están realizando los primeros ensayos de recolección mecánica con estas máquinas cabalgantes en plantaciones superintensivas (alrededor de 2000 árboles/ha) en el sur de España (Arenas y Hervalejo, 2012) de reciente implantación. Con este sistema de cultivo superintensivo, se

busca darle una forma adecuada a la estructura de las plantas para utilizar maquinaria ya existente y modificarla convenientemente. Este tipo de plantación y la adaptación de la maquinaria para la recolección tiene grandes ventajas: actúan sobre toda la copa del árbol (*over-row*), evitan la caída del fruto al suelo con estructuras de recogida, son máquinas de menor tamaño con menores potencias de accionamiento y pesos más reducidos; factores que las hacen viables tanto para explotaciones pequeñas como para parcelas de grandes dimensiones, y son capaces de adaptarse a condiciones orográficas difíciles.



Figura 4.- Cosechadoras.

2.2.3.- Vibradores de tronco y ramas

Las máquinas vibradoras de tronco y ramas (**Figura 5**) se utilizan desde hace mucho tiempo para la recolección de aceituna, frutos secos y frutas destinadas a industria. Son máquinas que proporcionan sacudidas al tronco o a las ramas, provocando el desprendimiento de la fruta, por lo que ésta puede golpearse durante la vibración o durante su caída.



Figura 5.- Arriba. Vibrador de ramas. Abajo. Vibrador de troncos.

Las máquinas integrales, además de un sistema vibrador llevan un sistema mecánico para la recogida de la fruta. Son adecuadas para plantaciones con filas regulares y no tienen limitación en cuanto a altura del árbol. Necesitan un espacio libre en las faldas de al menos 45 cm y que la primera rama se encuentre a más de 75 cm. Su rendimiento es de 90-140 árboles/h (Brown, 2005).

En las máquinas que no llevan incorporado el sistema de recolección, la fruta debe ser retirada posteriormente por operarios o mediante máquinas barredoras. Estas máquinas se adaptan mejor a plantaciones menos preparadas o con filas irregulares. Necesitan que las faldas estén a una altura superior a los 30 cm y tienen un rendimiento menor (30-100 árboles/h) (Brown, 2005).

Los porcentajes de derribo de fruta que se obtienen con los vibradores de troncos son variables. Esto podría deberse a varios factores, como pueden ser la especie y cultivar, la

intensidad de la poda o el grosor y longitud de las ramas, la frecuencia de vibración y el desplazamiento de tronco del vibrador. En Florida está ampliamente establecida la recolección de cítricos con vibradores ya que la mayor parte de su producción va destinada a la industria. Por ello, los daños que puedan presentar los frutos externamente se pueden aceptar (siempre que no favorezcan la infección por agentes patógenos, o que la fruta esté en muy mal estado). Los porcentajes de derribo que se consiguen con vibradores de tronco varían entre 57% y 90% (Whitney *et al.*, 2000a; Li *et al.*, 2005a) dependiendo de la variedad y de las condiciones operativas de la vibración (tiempo, amplitud y frecuencia). En España, en los últimos años, se están llevando a cabo los primeros ensayos en mandarinas y naranjas utilizando de vibradores de tronco y ramas. El porcentaje de derribo obtenido con vibradores de ramas varía entre un 46 % y un 85 % en función de la variedad. Con vibradores de tronco se alcanzan valores entre un 52 % y un 85 % dependiendo de las condiciones operativas de la vibración (Torregrosa *et al.*, 2009).

2.3.- NECESIDAD DE AGENTES ABSCISORES

Para incrementar los porcentajes de derribo y mejorar la eficiencia de la recolección mecánica mediante vibración se puede trabajar tanto en el desarrollo de maquinaria y la optimización de sus condiciones operativas como en el estudio de la aplicación de productos abscisores que facilitan el desprendimiento de los frutos. Se trata de fitorreguladores exógenos que aplicados a las plantas en un momento determinado del desarrollo, desatan procesos que pueden dar lugar a la pérdida de órganos.

Este intento de mejorar la eficacia y eficiencia de la recolección mecanizada se está llevando a cabo en Florida en las últimas décadas, como se ha comentado anteriormente. En España, casi no existe literatura sobre la aplicación de abscisores en cítricos en la mejora de la eficacia de la recolección mecanizada. Pons *et al.* (1992) estudiaron la

Introducción

aplicación de éstos con otro fin, anticipar la maduración externa de los frutos y su comercialización.

Para comprender el fenómeno de la abscisión, en el siguiente apartado se hace una descripción del mismo y se presentan los abscisores más estudiados en cítricos.

3.- GENERALIDADES SOBRE LA ABSCISIÓN FISIOLÓGICA

La abscisión es un fenómeno fisiológico que ocurre en todas las plantas de manera natural. Los órganos de los que se desprenden las plantas incluyen hojas, frutos, flores y otras partes de la planta. El desprendimiento de estos órganos se favorece por factores como el estrés, las heridas (Kostenyuk y Burns, 2004) o la propia senescencia del órgano en cuestión. Este fenómeno es el resultado de una estrategia adaptativa: el árbol puede desprenderse de las hojas antes de que sus necesidades metabólicas, en términos hídricos y de nutrientes, puedan exceder su contribución al potencial fotosintético de la planta (el carbono fijado) (Brown, 1997). Aún así, la abscisión fisiológica no deja de ser un proceso complejo, programado y regulado genética y enzimáticamente que ocurre en las llamadas zonas de abscisión (ZA). Estas ZA son secciones estrechas de unas pocas, delgadas y especializadas capas celulares, que responden específicamente y de diferente manera a las mismas señales hormonales y ambientales que sus células vecinas (Roberts *et al.*, 2002). Una vez iniciada la abscisión, las células de las ZA se alargan y comienza una actividad enzimática asociada a la degradación de la pared celular, como la que producen la β -1,4-glucanasa y la poligalacturonasa (Brown, 1997). El resultado de esta actividad es la degradación de la lámina media de las células de las ZA, llegando finalmente a la separación del órgano de la planta madre (Brown, 1997; Roberts *et al.*, 2002; Burns, 2002).

En los cítricos, las hojas tienen las ZA en la interfaz de la hoja lámina-peciolo y en el punto de contacto del peciolo y el tallo. El fruto tiene dos ZA: una en la interfaz fruto-cáliz y otra entre el cáliz y el pedúnculo (Ladaniya, 2008).

3.1.- PAPEL DE LAS HORMONAS EN LA ABCISIÓN: AUXINA/ETILENO

El fenómeno de la abscisión está regulado por hormonas. La comprensión del balance hormonal en las plantas es de absoluta necesidad para poder comprender el desarrollo de éstas y, consiguientemente, optimizar las aplicaciones exógenas de un fitorregulador. El papel fisiológico de las fitohormonas endógenas es regular el crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia de manera natural en un proceso secuencial predeterminado. Auxinas, giberelinas y citoquininas son promotoras del crecimiento y desarrollo, mientras que el ácido abscísico (ABA) y el etileno, promueven maduración, senescencia y abscisión.

La abscisión en frutos está regulada por el flujo de auxinas y etileno. Las auxinas retrasan la abscisión mientras el etileno la promueve (Brown, 1997). Se mantiene una baja sensibilidad al etileno en la ZA del fruto cuando en ésta hay un elevado flujo de auxinas hacia el fruto. Diversos tipos de estrés pueden reducir el transporte de auxinas al fruto, y por tanto, incrementar la sensibilidad al etileno en la ZA del pedúnculo (Brown, 1997).

La producción de etileno está relacionada con la abscisión de los órganos de las plantas (Brown, 1997). Sin embargo, este compuesto no es imprescindible para la activación de estos procesos, como se ha demostrado en *Arabidopsis* spp. (Patterson y Bleecker, 2004). Del mismo modo, una herida mecánica en el flavedo causa abscisión, sin necesitar la presencia de etileno (Kostenyuk y Burns, 2004).

Las enzimas más relacionadas con la abscisión suelen ser celulasas, pectinasas y poligalacturonasas (Roberts *et al.*, 2002) las cuales hidrolizan la pared celular de las células de la ZA en la que tiene lugar, debilitándola (Fischer y Bennett, 1991). La actividad de estas enzimas depende del pH, y además, muchas enzimas que degradan la pared parecen estar reguladas por el etileno.

3.2.- ABSCISORES. DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES

Existen compuestos, tanto artificiales como naturales, con capacidad de provocar abscisión. Son fitorreguladores exógenos que aplicados a las plantas en un momento determinado del desarrollo, desatan procesos que pueden dar lugar a la pérdida de órganos. Tales fitorreguladores son conocidos como abscisores o compuestos que pueden influenciar el proceso de la abscisión.

Los frutos cítricos, cuando llega el momento de la recolección, están fuertemente agarrados al pedúnculo que los soporta. Su recolección manual requiere de una fuerza no necesaria en otros frutos por lo que se suele cortar con tijeras.

Las características deseables para poder registrar un compuesto como abscisor de cítricos en Florida y que pueden generalizarse de manera universal son las siguientes: selectivo para el fruto maduro, no fitotóxico, que afloje el fruto poco después de su aplicación (Burns *et al.*, 2003a), no tóxico para el hombre ni el medio ambiente, manejable en el campo y económico.

Los abscisores presentan ventajas e inconvenientes. Como ventajas destacar la mejora de la eficiencia de la recolección mecanizada al disminuir la fuerza de retención del fruto al pedúnculo (FRF), y el tiempo empleado en la labor de recolección; disminuyendo así los costes y la duración que supone la mano de obra en la recogida manual. Los mayores inconvenientes que poseen son los posibles efectos secundarios como fitotoxicidad (gomosis, manchas en los frutos (“pitting”), muerte de las ramas (“twig dieback”), etc.), falta de selectividad de los frutos maduros lo que produce defoliación, desprendimiento de flores y frutos inmaduros reduciendo la producción de la campaña siguiente, así como efectos a corto, medio y largo plazo en la vida del árbol (Burns, 2002; Burns *et al.*, 2003a, Yuan *et al.*, 2005, Pozo y Burns, 2009). En Florida la aplicación de abscisores ha conseguido mejorar la eficacia de los vibradores de troncos en un 20-35%, consiguiendo porcentajes de derribo del 81-91% en Valencias y entre un 93-100% en naranjas Hamlin (Whitney *et al.*, 1986; Whitney y Wheaton, 1987). En el caso de las naranjas tardías Valencia el problema es que en el

momento de la recolección coexisten frutos maduros, frutos pequeños y verdes y flores que se desprenden durante la vibración disminuyendo la producción del siguiente año por lo que se investiga en el desarrollo de compuestos selectivos para el fruto maduro (Burns *et al.*, 2003b).

La abscisión foliar se ve afectada por los factores ambientales, ya sea promoviéndola, retardándola y/o inhibiéndola (Addicott, 1968). Se sabe que en hojas de plantas estresadas con déficit hídrico, el resultado es la pérdida progresiva de las hojas. El efecto del abscisor depende de la temperatura ambiental, así como la evolución del etileno en frutos y hojas de naranjas dulces y tempranas "Hamlin" tratadas con etefón y CMN-P (Yuan y Burns, 2004). Se sabe además, que una planta estresada es más susceptible de sufrir abscisión que una que no lo está.

A continuación se describen los compuestos estudiados como posibles agentes de abscisión en cítricos hasta ahora. Los hay de origen artificial como natural.

3.2.1.- Dikegulaco (ácido 2,3:4,6-di-O-isopropilideno- α -L-xilo-2-exulofuranosoico)

Dikegulaco, es el nombre común de un compuesto relacionado con los monosacáridos. En Florida se ha experimentado con dos formulaciones, una sal de sodio (dikegulaco de sodio) y una mezcla de dikegulaco (como ácido libre) y ácido ascórbico cuyos nombres comerciales son Atrimmec y DAA, respectivamente. El dikegulaco de sodio es un intermediario en la síntesis comercial del ácido L-ascórbico que se puede utilizar como un potente regulador del crecimiento vegetal, ya que promueve la formación de ramas laterales en las plantas por disrupción de la dominancia apical (Pozo *et al.*, 2004a). Esto sugiere que el modo de acción de estos productos está relacionado con el balance endógeno de auxinas. Como se ha comentado anteriormente, las auxinas retrasan la abscisión (Brown, 1997), y la alteración del balance endógeno de éstas, como la disrupción del transporte con inhibidores del transporte de auxinas, promueve la abscisión de frutos maduros de cítricos (Yuan *et al.*, 2001, 2003). Provocan abscisión de frutos maduros en cítricos, ya que

disminuyen un 50% la fuerza de retención del fruto en naranjas Hamlin y más de un 50% en naranjas Valencia, (Burns, 2002; Pozo *et al.*, 2004a), pero no provocan abscisión en aceituna (Burns *et al.*, 2008b), y tienen un mínimo efecto en uva (Fidelibus *et al.*, 2007). A pesar de la elevada reducción de la fuerza de retención, poseen importantes inconvenientes, sobretodo el Atrimmec, tales como: elevada defoliación, abscisión de flores y de órganos vegetativos jóvenes y las manchas que generan en la corteza de los frutos (“pitting”). De hecho, de las dos formulaciones, la única con mínima fitotoxicidad sobre naranjas Valencia, es la de DAA, ya que afloja el fruto maduro sin afectar a los frutitos jóvenes y con un efecto mínimo sobre la defoliación y la vida del árbol a largo plazo (Pozo *et al.*, 2004a).

3.2.2.- Prosulfurón y metsulfurón-metil e imazameth

Prosulfurón y metsulfurón-metil (sulfonilureas) e imazameth (imidazolinona) son herbicidas de hoja ancha cuya actividad radica en la inhibición de la acción de la enzima acetolactato sintasa, relacionada con la biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada. Además de acción herbicida, estos compuestos promueven abscisión en cítricos, ya que aumentan la concentración interna de etileno al sumergir los frutos maduros cortados por encima del pedúnculo de naranjas Valencia en estos compuestos, sobre todo en 2 mg/L de metsulfurón-metilo (Burns *et al.*, 1999). En estudios de invernadero con naranjos Hamlin y pomelos Marsh en maceta, se sumergieron los frutos desde el árbol en 2 mg/L de metsulfurón-metil y se mantuvieron a 18°C entre 2-5 días, obteniendo después de 10 días un 72% y 56% de naranjas y pomelos caídos respectivamente. Sin embargo, la temperatura media de 33°C del invernadero redujo notablemente la producción de etileno y la caída de frutos de las dos especies de frutos tratadas con metsulfurón-metilo. Se sabe que las altas temperaturas reducen la actividad herbicida de estos compuestos por la elevada tasa de detoxificación en los tejidos tratados así como que temperaturas superiores a 30°C también reducen la producción de etileno (Burns *et al.*, 1999). No está claro el modo en que estos

herbicidas causan la producción de etileno y la caída del fruto, ya que se pensaba que la producción de etileno se debía a heridas químicas producidas en la piel, pero estudios revelan que el tejido herido responde de diferente manera que el fruto entero. Se sabe que el metabolismo de los aminoácidos puede alterarse a consecuencia de la inhibición de la acetolactato sintasa, aumentando 5 veces más el nivel normal de metionina y pudiendo ser utilizada por la planta para sintetizar etileno coincidiendo con el proceso de abscisión (Burns *et al.*, 1999).

El pH de la solución también ejerce un efecto sobre la acumulación interna de etileno. La reducción del pH de las soluciones que contienen sulfonilureas e imidazolinonas incrementa la lipofilia del compuesto, lo que aumenta su absorción a través de las membranas celulares. Por ejemplo, el metsulfurón-metil a pH 4,5 produce mayores cantidades de etileno que a pH 5,5 y 7,5. No obstante, una disminución del pH aumenta la hidrólisis de la sulfonilurea, limitando el uso de bajo pH para aumentar su absorción (Burns *et al.*, 1999). Aunque prosulfurón y metsulfurón-metil reducen la FRF a bajas concentraciones (Whitney *et al.*, 2000a), estos compuestos tienen efectos secundarios tales como manchas en la piel del fruto (Alfárez *et al.*, 2006), siendo fitotóxicos para los árboles (Hamlin y Valencia) y disminuyendo las producciones (Whitney, 2003), así como muerte de la rama e injurias a los frutos jóvenes de la variedad Valencia.

3.2.3.- Coronatina

La coronatina es una fitotoxina polikétido producida por varias cepas patogénicas de *Pseudomonas* spp. Su modo de acción no es conocido, aunque se sabe que está inmunolocalizada en el cloroplasto y que induce la expresión de genes de la clorofilasa (Burns *et al.*, 2003b) y que comparte similitudes estructurales y funcionales con componentes de la señalización octadecanoide como el ácido jasmónico y el metil jasmonato (MJ). Los componentes de esta ruta afectan a la regulación de las respuestas de defensa, heridas, maduración del fruto y abscisión (Burns *et al.*, 2003b). La coronatina

Introducción

induce abscisión en frutos maduros de cítricos, a una concentración óptima de 200 mg/L y a un volumen de caldo de 5 L/árbol, siendo las hojas los órganos más insensibles a la coronatina. Además, no afecta a las flores ni a los frutitos de la variedad Valencia. Resultados parecidos encontramos en el uso del metil jasmonato (1 mM) (Hartmond *et al.*, 2000b). Pero la respuesta de esta variedad al MJ para aflojar el fruto es menor, ya que se necesita una concentración mayor para un aflojamiento consistente de los frutos de las naranjas Valencia. La coronatina tiene el inconveniente de provocar un estrés fisiológico general (Burns *et al.*, 2003b). La aplicación exógena a todo el árbol puede causar clorosis en las hojas de la copa, con una concomitante reducción de la clorofila y el incremento de la producción de etileno (Burns *et al.*, 2002, 2003b).

3.2.4.- Ácido jasmónico y derivados

En general, podríamos decir que las sustancias de la ruta octadecanoide pueden inducir abscisión y además la aplicación exógena de estos compuestos puede incrementar la producción de etileno en cítricos. Los jasmonatos, hormonas vegetales involucradas en numerosos procesos fisiológicos de las plantas como respuestas al estrés, senescencia y abscisión foliar se han estudiado como posibles abscisores de cítricos. El metil jasmonato (MJ) induce abscisión del fruto maduro en cítricos cuando se aplica a toda la copa (Hartmond *et al.*, 2000b), pero con el efecto secundario típico de provocar caída de hojas en naranjas Valencia, asociada al incremento de etileno producido en hojas y fruto (Burns *et al.*, 2003b). Con concentraciones iguales o mayores a 10 mM de MJ se consigue mayor producción de etileno por parte del fruto -asociada a la actividad de abscisión del MJ, pero también una elevada fitotoxicidad por defoliación si la concentración de MJ es superior o igual a 20 mM, así como una fitotoxicidad por abscisión floral en variedad de naranjas Valencia (Hartmond *et al.*, 2000b). Este hecho puede indicar un limitado transporte hacia el interior del fruto, o afectar al transporte de auxinas en la zona de abscisión y alterar el metabolismo celular (Sexton, 1995).

La aplicación directa de MJ a la zona de abscisión del fruto es muy efectiva pero no es práctica (Wilson, 1973; Hartmond *et al.*, 2000b). Las aplicaciones a la copa se ha demostrado que no son efectivas en naranjos Valencia cuando los frutitos empiezan a formarse, lo que limita bastante su utilidad (Wheaton *et al.*, 1977; Hartmond *et al.*, 2000a, b).

3.2.5.- CMN-P (5-cloro-3-metil-4-nitro-1H pirazol)

Parecer ser el único agente de abscisión más selectivo con el fruto maduro en cítricos. No es fitotóxico a elevadas temperaturas y apenas causa efectos en los frutitos verdes y en las flores de naranjas Valencia (Hartmond *et al.*, 2000a; Yuan y Burns, 2004). El CMN-P induce una evolución del etileno en los tejidos sensibles (Burns *et al.*, 2003b, Hartmond *et al.*, 2000a), ya que su aplicación promueve la abscisión. También promueve el cambio de color y el aflojamiento de los frutos. Apenas produce defoliación pero por el contrario produce manchas en la piel. Se desconoce su modo de acción, pero al ser soluble en agua y lípidos, se cree que debe ser absorbido por los tejidos de las plantas. Se piensa que actúa en la señalización de lípidos, con lo cual, ha de estar en contacto con la piel de la fruta madura para ejercer su acción (Alfárez *et al.*, 2005). Presenta inconvenientes importantes, como por ejemplo promover cambios asociados con la senescencia (Alfárez *et al.*, 2006) y causar efectos temporales en el intercambio gaseoso de las hojas así como alteración de la fluorescencia de la clorofila (Li *et al.*, 2008). El CMN-P parece actuar como un desacoplador de reacciones asociadas a membranas energéticas, aunque de manera temporal, efecto observado en la reducción del ATP celular total, aunque no es de manera irreversible (Alfárez *et al.*, 2005).

3.2.6.- Etefón (ácido 2-cloroetilfosfónico)

El etefón es un fitorregulador que se degrada químicamente para producir etileno después de su absorción en los compartimentos más alcalinos de los tejidos vegetales, lo que favorece la activación de los mecanismos de abscisión de la fruta y de las hojas (Yang, 1969). Un pH por encima de 5,5 promueve la rotura química del etefón, liberando etileno

Introducción

(Warner y Leopold, 1969). La utilización de adyuvantes, el pH de la solución, la temperatura y el estrés hídrico del árbol en el momento de la aplicación son factores que influyen en la cantidad de etileno liberado y en la respuesta de la planta al etefón (Kender *et al.*, 2000). En España es el único abscisor que podría ser utilizado a corto plazo, ya que está registrado legalmente para otros cultivos, tales como algodón, para adelantar y facilitar la apertura de cápsulas, y manzano, para adelantar y uniformar la maduración.

Tras décadas de investigación con etefón para adaptar los cultivos a la recolección mecanizada, sólo se permite la aplicación comercial en nueces (Ramos, 1997), cerezas (Bukovac, 1979). También se ha autorizado en caqui de manera excepcional en las comunidades autónomas andaluza y valenciana (MAGRAMA, 2015).

En experimentos con aceitunas se ha observado que el aflojamiento del fruto y las pérdidas de hojas producidos por etefón están influidos por la temperatura y las prácticas de riego (Klein *et al.*, 1978; Martin *et al.*, 1981). Las temperaturas elevadas y el estrés hídrico en el momento de la aplicación mejoran la eficacia del etefón pero también provocan mayor defoliación y fitotoxicidad (Bukovac, 1979; Pozo y Burns, 2000; Yuan y Burns, 2004).

En Florida se ha aplicado a razón de 400 mg/l en naranjos Hamlin. Además, se sabe que la aplicación de entre 400 y 800 mg/l de etefón induce la caída del fruto maduro (Li *et al.*, 2008).

Sin embargo, la aplicación de etefón, también tiene efectos sobre los frutos. Se ha observado que promueve cambios de color en la piel de clementinas, tangelos, híbridos, kumquats y naranjas (Young *et al.*, 1974; Hashinaga e Itoo, 1985). Concretamente, Alférez *et al.* (2006) afirman que en naranjas Hamlin se produce el cambio de color de la corteza a los 5 días después de los tratamientos. En España, Pons *et al.* (1992) evaluaron el etefón como fitorregulador sobre clementinas tempranas (Marisol y Oroval), junto con la aplicación de sales de calcio para mitigar el efecto de la defoliación producida por el etefón, pero observando a su vez una disminución del cambio de color. Acelerar el cambio de color podría ser una ventaja para las variedades de cítricos que alcanzan la madurez comercial

cuando la piel de la fruta todavía es verde, ya que se podrían evitar los procesos de desverdizado que se llevan a cabo en las centrales hortofrutícolas para adelantar la comercialización de dichas variedades. Por el contrario, también se han descrito efectos adversos sobre la fruta por la aplicación de etefón como ablandamiento de la corteza de mandarinas satsumas (Gilfillan y Lowe, 1985), aparición de manchas y daños en la piel de los frutos de algunas variedades (Whitney *et al.*, 1998; Whitney, 2003).

3.3.- COMPUESTOS PALIATIVOS A LA DEFOLIACIÓN CAUSADA POR LOS ABSCISORES

Se ha comentado anteriormente que todos los agentes de abscisión estudiados, excepto el CMN- P, producen defoliaciones elevadas en los árboles. Con el fin de reducir las, se han evaluado una serie de compuestos que pueden tener cierta acción paliativa. No obstante, pueden reducir el efecto del abscisor sobre la disminución de la FRF. Los compuestos que más se han evaluado son la guanfacina, la clonidina y el 1-Metilciclopropeno (1-MCP). La guanfacina y clonidina son dos compuestos farmacológicos (conocidos como agonistas α -adrenérgicos) muy importantes en la liberación de neurotransmisores en animales (Burns *et al.*, 2003a). Estos fármacos consiguen reducir la defoliación producida por el etefón y el metsulfurón-metilo en cítricos. La aplicación de 200 mg/L de etefón más 2 mM de clonidina o guanfacina reduce notablemente la pérdida de hoja en la variedad Valencia, siendo más efectiva la guanfacina. Respecto a la disminución de la FRF, los resultados son similares en cuanto a la aplicación de etefón sólo que mezclado con clonidina. La aplicación de guanfacina y etefón de manera conjunta disminuye un poco la capacidad del etefón en reducir la FRF (Burns *et al.*, 2003a). Además, la combinación de guanfacina (2 mM) con 2 mg/L de metsulfurón-metilo (Burns *et al.*, 2003a) reduce la pérdida de hojas y de frutos inmaduros, mientras que aplicar clonidina más metsulfurón-metilo no difiere de aplicar sólo este abscisor. Además del encarecimiento que

Introducción

supondrían estos reductores del efecto secundario de estos materiales químicos, hay que tener en cuenta el posible efecto en la fauna, sobre todo de mamíferos.

Aparte de los compuestos anteriores, el 1-metilciclopropeno (1-MCP) también controla o reduce los efectos secundarios producidos por el etefón, como la caída de frutitos verdes (Pozo y Burns, 2006). Además, la fitotoxicidad de este compuesto aumenta conforme aumenta la temperatura (Yuan y Burns, 2004). La aplicación simultánea de 1-MCP y etefón reduce la abscisión foliar, gomosis y muerte de la rama ("twig dieback") en *Citrus madurensis* y *Citrus sinensis*, aunque reduzca poco la FRF (Pozo *et al.*, 2004b). También reduce la pérdida de hojas producida por coronatina y MJ, con un efecto notable en la FRF, siendo la aplicación sólo de 1-MCP similar a los controles tanto en la abscisión foliar como en la FRF (Pozo *et al.*, 2004b). El modo de acción de este compuesto gaseoso es inhibir el sitio de unión del etileno, con lo cual, en lugar de unirse el etileno, se une 1-MCP, no desencadenándose los procesos fisiológicos asociados al etileno. El problema de este compuesto es que al ser un gas, tiende a volatilizarse, con lo cual la aplicación ha de realizarse rápidamente para no perder las propiedades del compuesto. A pesar de ello, el estudio de combinar el 1-MCP junto con etefón está en pleno auge debido a la reducción de los efectos secundarios fitotóxicos en cítricos, sobre todo en la industria de cítricos de Florida (Burns, 2008a).

Hasta ahora se han explicado los fenómenos de vibración y abscisión, pero para poder llevar a cabo estas prácticas, hay que tener en cuenta los posibles efectos que causan la abscisión y vibración del tronco sobre el árbol y su vida útil, tanto a corto como a largo plazo, o si afectan a la producción de la campaña siguiente y si los frutos se ven afectados por la aplicación del abscisor. Debido a este motivo, a continuación se describen los efectos encontrados en la literatura científica.

4.- ANTECEDENTES SOBRE EL EFECTO DE LA VIBRACIÓN Y LA APLICACIÓN DE ABSCISORES SOBRE LOS FRUTOS Y EL ESTADO FISIOLÓGICO DE LOS CÍTRICOS

4.1.- EFECTO DE LA VIBRACIÓN SOBRE EL ÁRBOL Y SU ESTADO FISIOLÓGICO

La recolección mecanizada con vibradores de tronco se basa en realizar una serie de sacudidas a los árboles aparentemente violentas desde la base del tronco y por encima del injerto (si lo tuviese) durante un tiempo determinado. Estas vibraciones, dependiendo de la máquina, los operadores, las maniobras de la misma para alcanzar el tronco y las condiciones del cultivo, pueden causar daños a los árboles como el desprendimiento de las hojas, flores y frutos jóvenes, rotura de ramas y/o raspaduras de corteza. Todo ello contribuye a la baja adopción generalizada de esta técnica, porque la salud del árbol (su vida útil) y la producción, después de la recolección con el vibrador de tronco, sigue siendo una preocupación importante para los productores de cítricos. Por estos motivos, en Florida se han realizado varios ensayos de campo entre 1970 y 2005 para investigar si vibradores de tronco afectan negativamente tanto a la producción del cultivo como al estado fisiológico de los árboles a corto o largo plazo. Exceptuando la variedad de naranjas tardía Valencia, los resultados de estos estudios no mostraron efectos negativos a corto o largo plazo. En cambio, las investigaciones llevadas a cabo sugieren que los árboles que fueron bien tratados antes y después de la recolección mecánica se recuperaron totalmente de todos los posibles estreses relacionados con la recolección mecanizada (Hedden *et al.*, 1984; Li y Syversten 2005a; Whitney, 2003). Un estudio más reciente analizó los datos de producción de los agricultores entre 1998 y 2008 obtenidos a partir de parcelas recolectadas mecánicamente y a mano. Se demostró que no había evidencia de que la vida del árbol se hubiera acortado o que las producciones se hubieran reducido a causa de la vibración (Moseley *et al.*, 2012).

4.2.- EFECTO DE LOS ABSCISORES SOBRE LOS FRUTOS

Como hemos comentado anteriormente, los abscisores pueden tener varios efectos en los frutos, siendo positivos la disminución de la FRF y la aceleración del cambio de color (maduración externa), ya que aceleraría la salida de la fruta al mercado. Los efectos negativos que presentan son que pueden producir un ablandamiento y manchas en la corteza, afectando a su estética, y por tanto, depreciando o anulando su valor en el mercado para consumo en fresco (Alfárez *et al.*, 2006). Por otro lado, en cuanto a la maduración interna, no se ha visto afectada la calidad del zumo.

Las clementinas (las mandarinas más apreciadas por sus características organolépticas) y algunas naranjas tempranas alcanzan la madurez comercial (determinados niveles de contenido en azúcar y ácidos en el zumo) cuando la piel de la fruta todavía es verde. Por este motivo, frecuentemente, tras ser cosechadas se les aplica un proceso de desverdizado en cámara, que consiste básicamente en aplicar etileno (1-5 ppm) y mantener los frutos a una T^a de 18-24°C entre 24-72 h, con una HR del 90-95%, una concentración de oxígeno alrededor del 21% y la renovación continuada del aire de la cámara (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1981). Conseguir este desverdizado en campo sin perjudicar a la calidad del zumo evitaría o reduciría el coste de este proceso (al permanecer los frutos menos días en la cámara) y la fruta tendría mejor sabor. Tal y como se ha comentado anteriormente, la elevada competencia con otros países mediterráneos ha llevado a abaratar el precio de venta de la fruta en el mercado, generando un estado de crisis y alerta en la industria citrícola española, ya que muchos agricultores se han visto obligados a dejar perder sus cultivos por no poder mantenerlos. Por ello, adelantar la salida de la fruta al mercado acelerando su madurez comercial evitaría el desverdizado de industria, lo que reduciría los costes de producción y aumentaría el precio de venta respectivamente, ampliando margen de beneficios del empresario.

4.3.- EFECTO DE LOS ABSCISORES SOBRE EL ESTADO FISIOLÓGICO

Para asegurarnos de que las plantas no están sufriendo ningún tipo de estrés fisiológico, hay que evaluar su estado antes y después de la aplicación de los abscisores y de la vibración. Para ello, hay que comprobar que el estado hídrico y el balance de CO₂ no estén alterados, es decir, que las plantas captan agua y luz fotosintéticamente activa de manera correcta, y por tanto, realizando el intercambio gaseoso de manera adecuada.

El agua es el factor más importante entre los que restringen la productividad de los cultivos (Hsiao *et al.*, 2009). Las plantas deben transpirar para mantener la función fotosintética y la lluvia no está siempre disponible cuando se la necesita. En muchos sitios y en ciertas épocas del año se producen situaciones de déficit hídrico porque la evapotranspiración supera la disponibilidad hídrica edáfica.

Desde un punto de vista fisiológico la palabra estrés remite a algún tipo de alteración del funcionamiento normal con consecuencias sobre el crecimiento o el desarrollo de la planta (Salisbury y Ross, 2000). Desde un punto de vista ecofisiológico, se ha definido al estrés hídrico como cualquier limitación al funcionamiento óptimo de una planta, impuesto por una disponibilidad de agua insuficiente (Medrano y Flexas, 2003). Un déficit hídrico puede producir un conjunto de respuestas negativas en la plantas, como la disminución del potencial hídrico, que a su vez produce una pérdida concomitante de turgencia celular y continúa con la síntesis de ácido abscísico (ABA), Linchtenthaler, 2003; Gollan *et al.*, 1992) el cierre estomático y la disminución de la fotosíntesis, pudiendo traducirse en un daño biológico. La aplicación de abscisores pueden generar algún tipo de estrés o injurias en las plantas. Aparte de la defoliación y de la caída de los frutitos jóvenes (Pozo y Burns, 2009), pueden producir la muerte de las ramas ("twig dieback"), una reducción de la producción, caída de frutos maduros y manchas en la corteza de la fruta (Whitney *et al.*, 1998; Whitney, 2003). En cuanto a la afectación del estado fisiológico, existen varios estudios que demuestran los efectos a corto y largo plazo en la fisiología del árbol. Li *et al.*, (2008) demostraron que la pulverización de abscisores tenía un pequeño efecto sobre el contenido

Introducción

de clorofilas de las hojas, el contenido hídrico y el potencial hídrico de la hoja al medio día solar, así como una disminución en el intercambio gaseoso neto y una inhibición del crecimiento del fruto joven. A pesar de estos efectos negativos, los árboles se recuperaban de la fitotoxicidad generada gradualmente.

5.- OBJETIVO DE LA TESIS

El objetivo general de la tesis es proponer una solución mecanizada para la recolección tradicional de los cítricos mediante el uso de un vibrador de troncos y el empleo del abscisor etefón para ayudar al mismo en su labor de cosecha, teniendo en cuenta el destino de los frutos (mercado fresco o industria) y el sistema de plantación tradicional español. El fin último es aumentar la productividad de este proceso, y con ello, la competitividad del sector citrícola español a nivel mundial. Para conseguirlo, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la eficiencia de la recolección con vibrador de troncos (cantidad y forma en la que desprende la fruta y la defoliación producida) apoyada o no con el empleo del abscisor etefón en naranjas, híbridos y mandarinas de distinta estación, en las condiciones climáticas de España.
- Estudiar el efecto de la aplicación y dosificación del abscisor etefón sobre la calidad interna y externa de los frutos.
- Analizar el efecto de la vibración de troncos y de la aplicación del abscisor etefón sobre el estado fisiológico de los árboles y la producción.
- Dar recomendaciones sobre el uso comercial en cítricos del vibrador de troncos y del abscisor etefón así como su posible aplicación conjunta como una posible alternativa a la recolección de cítricos manual.

6.- MATERIALES Y MÉTODOS

6.1.- DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS. TRATAMIENTOS Y FECHAS

Durante las campañas 08-09, 09-10 y 10-11 se llevaron a cabo 11 ensayos en 5 parcelas comerciales de cítricos. Los árboles de las especies y variedades de cítricos que se utilizaron en el experimento estaban injertados en el patrón Carrizo citrange [*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf] y fueron las siguientes: naranjo dulce (*Citrus sinensis*, (L.) Osb), mandarinos clementinos (*Citrus reticulata*, Blanco), e híbridos (*Citrus clementina*, Hort, ex Tan. x *C. tangerina* Hort, ex Tan.).

Las características de cada una de las plantaciones se muestran en la **Tabla 1**. Estas plantaciones produjeron desde mandarinas tempranas (Marisol) hasta híbridos tardíos (Fortune), que fueron recolectados desde otoño a primavera, cubriendo prácticamente toda la época de recolección.

En cada ensayo se llevaron a cabo 5 tratamientos: un control (agua) y 4 dosis de etefón (Ethrel 48, Numarf España, S.A., Barcelona, España) resultantes de la combinación de (i) 2 concentraciones (600 y 1200 ppm) y (ii) 2 volúmenes de caldo, uno mayor que se definió como el volumen de caldo hasta el punto de goteo (V_M) y otro menor que correspondió a una reducción del anterior del 40% (V_m). Dichos volúmenes variaron en función del volumen de vegetación de copa de los árboles (V_{veg}) de cada variedad y se muestran en la **Tabla 2**. En los 5 tratamientos se añadió un coadyuvante (Sipcam Inagra, S.A., Valencia, España) al 0.05%, para facilitar la distribución del producto, como se indica en la literatura (Burns *et al.*, 1999; Kender *et al.*, 2000; Burns *et al.*, 2006 a; Burns *et al.*, 2006 b; Pozo y Burns, 2009). El pH de la mezcla fue de 6,8-7,2 en todos los ensayos. La unidad experimental fue un árbol y se hicieron 10 repeticiones por tratamiento, con un total de 50 árboles por ensayo. La asignación de los tratamientos a los árboles se realizó de manera aleatoria.

Materiales y métodos

Tabla 1.- Características de las parcelas: localización, edad, marco de plantación y volumen de vegetación de copa (*).

Parcelas	Latitud y longitud parcela	Edad plantación (años)	Marco de plantación (m ²)	Volumen de vegetación de la copa* (m ³ /árbol)	Observaciones y época de recolección
Orogrande (parcelas 1 y 2 del mismo campo)	Lat 39° 55' 55.40" N Long 0° 22' 14.71" O	12-13	6x2	11.22	Mandarina clementina de recolección mediana-tardía (Octubre-Enero)
Marisol	Lat 39° 39' 9.08" N Long 0° 18' 39.74" O	27	5x3.80	8.66	Mandarina clementina de recolección temprana (Septiembre-Octubre)
Navel Lane Late	Lat 39° 36' 0.07" N Long 0° 21' 48.65" O	20	5.4x2.4	9.5	Naranja de recolección tardía (Enero-Mayo)
Clemenules	Lat 39° 28' 57.52" N Long 0° 36' 53.51" O	12	6x4	18.8	Mandarina clementina de recolección mediana-tardía (Noviembre-Enero)
Fortune	Lat 39° 36' 49.22" N Long 0° 21' 12.79" O	22	5.8x4	18.8	MarisolMandarina Híbrida de recolección tardía (Febrero-Abril)

(*) El volumen de vegetación aparente de copa se estimó (como media de tres repeticiones) a través de la altura, anchura (diámetro 1) y profundidad de la copa (diámetro 2), considerando la copa un elipsoide.

Materiales y métodos

Tabla 2.-Volumen de caldo, datos meteorológicos y características operativas del vibrador en cada parcela y campaña. (VM: Volumen mayor, Vm: Volumen menor; Tª: Temperatura, HR: Humedad relativa, P: Pluviometría; F: Frecuencia; A: Amplitud; T: Tiempo de vibración.; Días Pul-Rec: Días transcurridos desde la pulverización hasta la recolección)

Variedad/ Parcela	Campaña	Características de la aplicación		Datos meteorológicos			Fecha aplicación	Días Pul-Rec	Características operativas del vibrador		
		V _M (L/árbol)	V _m (L/árbol)	Tª (°C)	HR (%)	P (mm)			F (Hz)	A (mm)	T (s)
Orogrande 1	08-09			14.2	82	0.07	5/11/08	6	14.7	25	5+5
	09-10	7	4	17.1	68	0.02	30/10/09	10-12	15.4	27	3+2
	10-11			13.8	61	0.003	2/11/10	10	15.5	15	3+3
Orogrande 2	09-10	7	4	17.1	68	0.02	30/10/09	11-12	15.4	27	3+2
	10-11			13.8	61	0.003	2/11/10	10	15.5	15	3+3
Marisol	09-10	7	4	21.1	67	0.16	24/9/09	8-9	15	25	5
	10-11			21.3	62	0.002	6/10/10	12	15	25	5
Navel Lane Late	09-10	6	3.5	14.5	89	0.02	15/3/10	8	15.7	30	3+2
	10-11			12.3	75	0.06	22/3/11	8	15.7	30	3+2
Clemenules	09-10	8	4.5	13.7	59	0.002	23/11/09	10	14.7	17	3+2
Fortune	09-10	10.5	6.5	13.2	71.	0.008	31/3/2010	7	14.1	35	3+2

Los tratamientos se realizaron con un pulverizador hidráulico de pistola, a 3 MPa (**Figura 6**). El volumen de caldo mayor se aplicó con una boquilla cónica de cerámica de 1,2 mm de diámetro de apertura y el volumen de caldo menor con el mismo tipo de boquilla pero con un diámetro de apertura de 1 mm. Con las dos boquillas el ángulo de apertura de cono fue de 30 °.





Figura 6.- Arriba. Aplicación del etefón en diferentes parcelas. Abajo. Detalle del punto de goteo y de la escorrentía del etefón.

Después de la aplicación de etefón, entre 6 y 12 días dependiendo del ensayo (**Tabla 3**), 5 árboles de cada tratamiento se recolectaron a mano y los otros 5 árboles del tratamiento se recolectaron con un vibrador de troncos tipo orbital con agarre del tronco por tres puntos (Topavi, modelo: brazo soporte vibrador, Maquinaria Garrido S.L., Autol, La Rioja, España) (**Figura 7**). Las características operativas del vibrador en cada uno de los ensayos se muestran en la **Tabla 2**. La frecuencia en los diferentes ensayos osciló entre 14.1-15.5 Hz y la amplitud entre 15 - 35 mm (Ortiz y Torregrosa, 2013). La duración de la

vibración fue de 5 s en todos los ensayos excepto en el primero. La vibración se realizó en una tanda (5 s) o en dos tandas (3 s+2 s), excepto en el primer ensayo, en el que los árboles fueron sacudidos durante 10 s (5 s+5 s). En un trabajo previo, Torregrosa *et al.*, (2009) demostraron que estos patrones de vibración apenas tenían importancia en los resultados, ya que la fruta y las hojas eran derribadas en los primeros 3 s.





Figura 7.- Vibrador de troncos utilizado en los ensayos y detalle de cómo la pinza abraza al tronco para realizar la vibración.

La frecuencia y la duración de la vibración se midieron con un acelerómetro triaxial situado en el tronco del árbol, cerca del brazo vibrador, registrando la duración total de las vibraciones con un osciloscopio digital a una frecuencia de 858 Hz. La amplitud se midió con una grabación de video a 300 fotogramas por segundo. Durante la vibración frutos y hojas cayeron sobre unas lonas amortiguadoras que se colocaron debajo de cada árbol para recoger la fruta derribada (**Figura 8**).



Figura 8.- Derribo de fruta y hojas sobre lonas amortiguadoras.

Las fechas en las que se realizaron los ensayos vinieron definidas por la demanda de fruta del comercio y por las condiciones climatológicas. La climatología (temperatura, humedad relativa media y pluviometría) desde 15 días antes de la aplicación hasta la recolección se muestra en la **Tabla 2**. Entre la aplicación de etefón y la recolección apenas

hubo precipitaciones. Las ligeras precipitaciones que hubo días antes de la recolección en la parcela Marisol no modificaron el efecto del etefón, puesto que habían pasado las 8 h necesarias para la absorción del producto por parte de la planta (Wilson *et al.*, 1977; 1981).

Teniendo en cuenta la dosis de etefón y la técnica de recolección, el número de tratamientos para cada parcela fue de 10 tratamientos y se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3.- Tratamientos llevados a cabo en el ensayo. *NT*: árboles no tratados (pulverizados con agua+adyuvante). *ET*: árboles tratados con etefón; *RM*: árboles recolectados a mano; *RV*: árboles recolectados con vibrador de troncos. 1, 2, 3, y 4: Dosis resultantes de la combinación del volumen de caldo y la concentración aplicada en cada variedad.

Tratamiento	Técnica de recolección	Volumen de caldo pulverizado	Concentración de etefón (mg/L)
NTRM	Recolección manual	V_M (Punto de goteo)	0
NTRV	Recolección con vibrador		
ET1RM	Recolección manual	V_m (-40%)	600
ET1RV	Recolección con vibrador		
ET2RM	Recolección manual	V_M (Punto de goteo)	1200
ET2RV	Recolección con vibrador		
ET3RM	Recolección manual	V_m (-40%)	1200
ET3RV	Recolección con vibrador		
ET4RM	Recolección manual	V_M (Punto de goteo)	
ET4RV	Recolección con vibrador		

6.2.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON LA EFICIENCIA DE LA RECOLECCIÓN.

Para medir la eficiencia y la calidad de la recolección con vibrador se evaluaron las siguientes variables: porcentaje de fruta derribada (%), porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) y cantidad de hojas desprendidas (kg).

Para medir el porcentaje de fruta derribada, una vez vibrado el árbol, los frutos derribados se pesaron con un dinamómetro digital (Advanced Force Gauge 500 N, Mecmesin, England, U.K.). La fruta que quedó en el árbol tras la vibración, se recolectó a mano y también se pesó de la misma manera. A partir de la cantidad de fruta derribada con el vibrador respecto al total de fruta en el árbol (recolectada con vibrador más la recolectada a mano) se calculó el porcentaje de fruta derribada por el vibrador.

El porcentaje de fruta derribada sin cáliz se determinó a partir de una muestra al azar de 100 frutos desprendidos por el vibrador en cada árbol vibrado, contabilizando el número de frutos sin cáliz. A partir de este valor y del número total de frutos de la muestra se calculó el porcentaje de frutos derribados sin cáliz (**Figura 9**).



Figura 9.- *Izquierda.* Fruta derribada con cáliz. *Derecha.* Fruta derribada sin cáliz.

Las hojas desprendidas de cada árbol durante la vibración se pesaron con el dinamómetro. La defoliación se evaluó en kg y no en porcentaje porque no se permitió la defoliación completa de los árboles, ya que los ensayos se llevaron a cabo en parcelas comerciales. Debido a este motivo, medimos la cantidad de hojas derribadas por árbol.

Paralelamente a esta medida directa de la defoliación, se realizó una medida indirecta de la misma basada en la evaluación de la fracción de luz interceptada por la copa del árbol (fracción de radiación fotosintéticamente activa, $F_{PAR, \%}$) antes y después de los tratamientos. Dado que es una variable que también afecta al estado fisiológico se ha incluido en esa parte de la tesis (ver punto 6.4).

6.2.1.- Análisis de los datos

En primer lugar, se evaluó la influencia de los factores *Campaña* y *Parcela* sobre las variables respuesta porcentaje de fruta derribada y porcentaje de fruta sin cáliz. Para ello, se realizó un Análisis de la Varianza Multifactorial (ANOVA) sobre los datos correspondientes a los árboles a los que no se les aplicó etefón (dosis 0, NT).

Materiales y métodos

En todos los análisis se comprobó que los datos cumplían la hipótesis de homocedasticidad mediante el Test de Levene. La normalidad de los residuos se comprobó mediante papel probabilístico normal. Para comparar las medias de los tratamientos se utilizó la prueba Least Square Difference (LSD). En todos los análisis se consideró un nivel de confianza del 95%.

En segundo lugar, se estudió el efecto del factor *Dosis de etefón* sobre las mismas variables de eficiencia de la recolección (porcentaje de fruta derribada y porcentaje de fruta derribada sin cáliz), considerando también la influencia de los factores *Campaña* y *Parcela*. Para ello, se realizaron Regresiones Lineales Múltiples (RLM). Para evaluar si la relación entre las dos variables dependientes que miden la eficiencia y la *Dosis de etefón* se veían afectadas por los factores *Campaña* y *Parcela*, se incluyeron en el modelo de regresión una serie de variables indicadoras asociadas a los niveles de cada factor y que también se multiplican por la *Dosis de etefón*. Una variable indicadora es aquella que toma el valor 0 ó 1 indicando la ausencia o presencia de un efecto categórico que puede esperarse. Cuando una variable indicadora tiene n categorías, sólo $(n-1)$ variables indicadoras son introducidas en el modelo para evitar multicolinealidad. La categoría (nivel) para la cual la variable indicadora no es asignada es la base del grupo (la que se toma de referencia) (Suits, 1957). En nuestro caso, el factor *Parcela* tiene 6 niveles (Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune) y se eligió Orogrande 1 como la referencia del grupo. Por su parte, el factor *Campaña*, tiene 2 niveles (09-10 y 10-11), y se eligió 2010-11 como referencia. El análisis de regresión múltiple se llevó a cabo como un proceso iterativo en el que se incluyeron todos los datos experimentales. Se incluyó la *Dosis de etefón* como variable independiente, las dos variables indicadoras (*Parcela* y *Campaña*) y sus interacciones en el modelo. Una vez realizada la regresión con todas las categorías de variables indicadoras incluidas, se retira del modelo la variable cuyo coeficiente de regresión no tiene significación estadística ($p > 0.05$) y es mayor. Posteriormente, se calcula de nuevo otra regresión reiterando el proceso hasta que todos los coeficientes de regresión de las

variables resultan significativos. Las variables indicadoras que son significativas y multiplican a la variable dosis indican que el nivel del factor asociado es más (signo positivo) o menos (signo negativo) sensible a la *Dosis de etefón* que el nivel del factor de referencia.

En el caso de la parcela 1 de Orogrande en la que el estudio se llevó a cabo durante tres campañas (08-09, 09-10 y 10-11), el análisis se hizo de igual manera que se ha descrito para el resto de parcelas pero utilizando variables indicadoras para las campañas 08-09 y 09-10, y tomando de referencia la campaña 10-11.

Por último, dado que las diferentes parcelas tenían diferentes tamaños y densidades foliares, la variable defoliación (kg hojas/árbol) no se podía comparar entre las parcelas. Por esta razón, el efecto de la *Dosis de etefón* sobre la defoliación se estudió para cada parcela. En las parcelas estudiadas durante varias campañas (Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late), el efecto de la campaña también fue estudiado. Se realizaron RLM siguiendo la metodología anterior. En este caso, el factor Campaña tuvo 2 ó 3 niveles dependiendo de la parcela (08-09, 09-10 y 10-11), y volviendo a elegir la campaña 10-11 como referencia,

En todos los análisis de regresión, se comprobaron todos los supuestos de regresión lineal. No se identificaron valores anómalos.

6.3.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL ESTADO DE LA FRUTA

Para determinar el estado en el que se encontraba la fruta antes de la aplicación de etefón, se recolectaron de manera aleatoria 5 frutos por árbol de 5 repeticiones de los árboles NT, ET1, ET2, ET3 y ET4, con un pedúnculo mínimo de 2 cm. Sobre cada fruto se midió la fuerza de retención del fruto (FRF), el índice de color (ICC), los sólidos solubles totales (SST), la acidez, y el índice madurez (IM). Después de la aplicación y previo a la

Materiales y métodos

recolección, se repitió la operación. El día de la recolección, se evaluó además el porcentaje de fruta con manchas aparentemente causadas por el etefón.

La FRF (N) se evaluó en las tres campañas (08-09, 09-10 y 10-11) y se midió con un dinamómetro digital (Advanced Force Gauge 500 N, Mecmesin, England, U.K.) sujetando horizontalmente el pedúnculo del fruto a un torno fijo, dejando 0.5 cm de distancia hasta el cáliz, de modo que el eje pedúnculo-cáliz quedase horizontal. Posteriormente se estiró del fruto con el dinamómetro, utilizando una estructura que obligase a realizar un movimiento horizontal (**Figura 10**).



Figura 10.- Determinación de la FRF con el dinamómetro.

El color de la corteza se evaluó en las tres campañas y se midió con un Colorímetro Minolta (Modelo CR-400/410; Japón) a partir de las coordenadas Hunter Lab (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1981), tomándose dos lecturas por fruto, una en la parte más verde y otra en la más naranja (**Figura 11**). Se calculó el ICC de cada lectura tomada en los frutos y la media de las dos medidas fue el valor de ICC del fruto.

Al observar que las medidas y los análisis estadísticos realizados en las campañas previas no mostraban lo que se observaba visualmente en los árboles, en la campaña 10-11 se decidió cambiar la metodología y se hizo un seguimiento del cambio de color de los frutos en el propio árbol. Para ello, se marcaron 15 frutos por árbol, y se midió el color de la corteza de esos frutos en la propia parcela antes de la aplicación de etefón y de la recolección.



Figura 11.- Toma de lectura del color de la corteza.

La deformación de la corteza se evaluó en las campañas 08-09 y 09-10 y se determinó mediante un ensayo de compresión en el que cada fruto se comprimía entre dos superficies planas que iban acercándose entre ellas a una velocidad de 5 mm/ min. Se aplicó una fuerza de 10 N sobre la zona ecuatorial de cada fruto. Se midió con una Máquina Universal de Ensayos (Instron modelo 3343 Force Transducer, Instron Corp., Canton, MA, EE.UU) (**Figura 12**). El porcentaje de deformación de la corteza (%) se calculó como:

Porcentaje de deformación de la corteza = $\frac{\text{mm deformados por la compresión}}{\text{diámetro ecuatorial del fruto}} \times 100$.

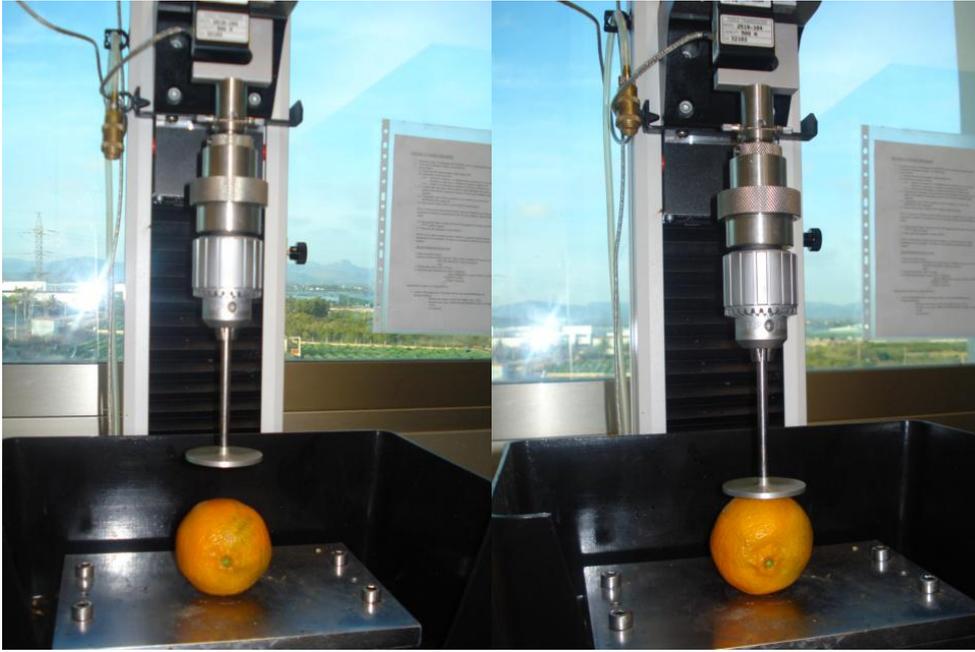


Figura 12.- Ensayo de compresión para determinar los mm de corteza deformados.

El índice de madurez (IM) se evaluó en las campañas 08-09 y 09-10 y se calculó como el cociente entre los sólidos solubles y la acidez (González-Sicilia, 1968). Para ello, se extrajo el zumo a cada lote de 5 frutos por árbol y se midió la concentración de sólidos solubles con un refractómetro digital (Atago modelo PAL-3; Atago Co. Tokyo, Japón). Para determinar la acidez se valoraron alícuotas de 5 ml de zumo (obtenido a partir de exprimir los 5 frutos por árbol) con una solución de NaOH 0.1 N, con un valorador automático (Mettler Toledo T50, Rondo Tower, Switzerland). En las parcelas de las variedades Marisol y Fortune, se valoraron alícuotas de 3 ml de zumo, ya que al ser variedades más ácidas se necesita una cantidad mayor de NaOH (**Figura 13**).

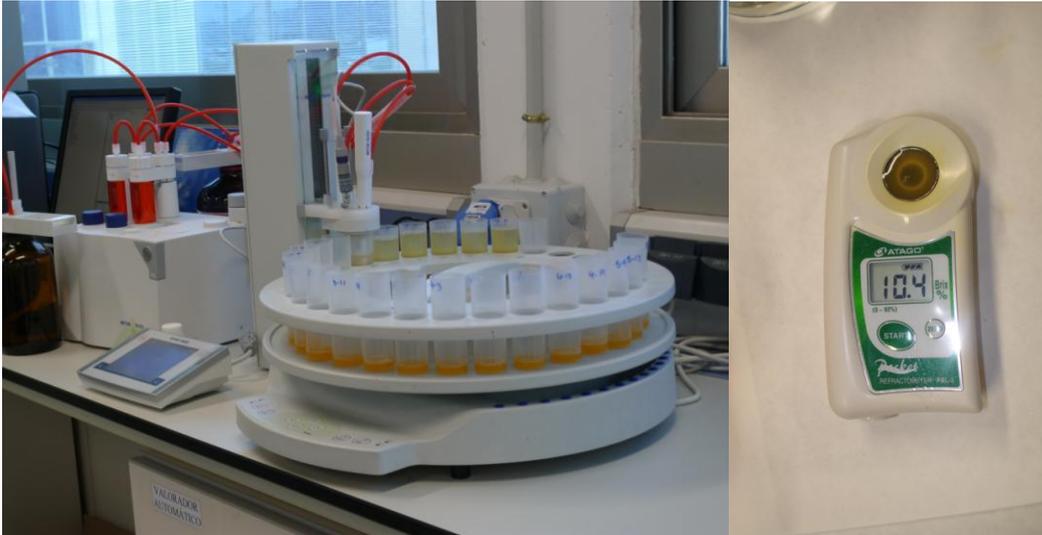


Figura 13.- Izquierda. Valorador automático trabajando para determinar la acidez titulable de las muestras. Derecha. Refractómetro digital calculando los °Brix.

El día de la recolección se obtuvo una muestra aleatoria de 100 frutos de cada árbol y se examinó la presencia o ausencia de manchas en cada fruto. El porcentaje de fruta manchada se calculó como:

Porcentaje de fruta manchada = $\frac{\text{Número de frutas con manchas}}{\text{número total de frutas}} \times 100$.

6.3.1.- Análisis de los datos

En primer lugar se estudió el efecto del factor *Dosis de etefón* y *Campaña* sobre las variables que miden el estado de madurez en cada variedad/parcela.

En el caso de las variedades que se evaluaron más de una campaña, para cada variedad se siguió un proceso iterativo en el que primero se realizó una regresión lineal múltiple entre la *Dosis de etefón* y cada una de las variables que miden el estado de madurez, añadiendo una serie de variables indicadoras (Suits, 1957) asociadas a los niveles del factor *Campaña* que también se multiplican por la *Dosis de etefón* en las variedades en las que se repitió el ensayo. Los niveles del factor *Campaña* fueron cada una de las campañas estudiadas (08-09, 09-10 y 10-11). La interpretación del análisis para la FRF es a la inversa que en el resto de variables analizadas (ICC, Deformación de la corteza e IM), es

Materiales y métodos

decir, hay una mayor sensibilidad de la variedad/parcela cuando la variable indicadora que multiplica a la *Dosis de etefón* es de signo negativo, ya que la FRF disminuye cuanto mayor es la dosis (el efecto del etefón sobre la FRF se observa cuando disminuye su valor significativamente respecto de su valor inicial). Las variables indicadoras significativas que multiplican a una constante indican que la variable respuesta estudiada parte de un nivel más alto (signo positivo) o más bajo (signo negativo) que el de la variedad de referencia. Recordemos que las variables ICC y FRF se evaluaron en las tres campañas, mientras que el IM y la deformación de la corteza sólo se evaluaron en las campañas 08-09 y 09-10.

Por último, se observó en la campaña 10-11 de la variedad Navel Lane Late y antes de la aplicación de etefón, que los frutos de los árboles tratados (ET) en la campaña 09-10 estaban más verdes que los controles (NT, sin etefón) y que el color de la fruta parecía estar más verde conforme se aumentó la concentración aplicada. Por ello, se analizó si la aplicación de distintas *Dosis de etefón* había tenido un efecto acumulativo en el ICC de los frutos en cuyas variedades se había repetido el ensayo en la campaña siguiente. Para ello, se realizó un ANOVA Multifactorial del ICC antes de la aplicación en la variedad Navel Lane Late en las dos campañas en las que se llevó a cabo el ensayo, ya que era la variedad en la que parecía observarse un efecto acumulativo. A continuación, en todas las variedades en las que se repitió el ensayo, se realizó un análisis de regresión simple para analizar el ICC antes de la aplicación de etefón correspondiente.

En todos los modelos ajustados, se comprobaron todos los supuestos de regresión lineal.

En todos los ANOVAs se comprobó que los residuos cumplían la hipótesis de homocedasticidad mediante el Test de Levene. Mediante papel probabilístico normal se comprobó la normalidad de los residuos y se identificaron posibles datos anómalos. Para comparar las medias de los tratamientos se utilizó la prueba Least Square Difference (LSD). En todos los análisis se consideró un nivel de confianza del 95%.

6.4.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL ESTADO FISIOLÓGICO

Durante todo el ensayo, en los árboles pulverizados con agua más adyuvante (control, NT) y en los tratados con la mayor *Dosis de etefón* (ET4) de todas las parcelas (10 árboles por tratamiento) se controlaron periódicamente el estado hídrico de la planta, el intercambio gaseoso y la interceptación de luz por parte de la copa. En el anejo 11.1 se hace una descripción detallada de cada una de estas variables que afectan al estado fisiológico. El seguimiento se llevó a cabo entre 2-21 días antes del inicio de los tratamientos dependiendo de la variedad, hasta el final del experimento. Los tratamientos que se compararon fueron: NTRM (árboles no tratados con etefón y recolectados a mano, los controles), NTRV (no tratados con etefón y recolectados por vibración), ET4RM (tratados con la dosis 4 de etefón y recolectados a mano) y ET4RV (tratados con la dosis 4 de etefón y vibrados).

El estado hídrico de la planta se determinó midiendo el potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada al mediodía (Ψ_{tallo} , MPa). Las medidas se realizaron al mediodía solar, con una cámara a presión de tipo Scholander (Model 600, PMS Instrument Company, Albany, OR, EE.UU) en 2 hojas sanas, adultas, homogéneas y no soleadas por árbol y que previamente se introdujeron en una bolsa hermética durante una hora para reducir al máximo la transpiración (McCutchan y Shackel, 1992). La metodología que se seguía era la siguiente: pasados los 60 min la hoja se cortaba con una cuchilla dejando un peciolo de unos 2 cm y, sin quitar la bolsa hermética, la hoja se introducía en la cámara, sobresaliendo el peciolo de la misma. Seguidamente, se aplicaba presión y se estimaba el potencial hídrico cuando el peciolo expulsaba una gota (**Figura 14**). Desde que se cortaba la hoja embolsada del árbol hasta que se le aplicaba presión, no debía pasar un tiempo mayor de 2 minutos (Turner, 1981). El valor de potencial hídrico por árbol se obtuvo de la media obtenida de las 2 hojas.



Figura 14.- Medida del potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada con la cámara a presión.

Simultáneamente a las medidas de potencial hídrico, se midieron la conductancia estomática o apertura y cierre estomático (g_s , $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), la tasa neta de asimilación de CO_2 o fotosíntesis (A_{CO_2} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la transpiración de la hoja o pérdida de agua por los estomas (E_t , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en 3 hojas adultas, sanas, homogéneas y soleadas por árbol (un total de 30 hojas por tratamiento). Las medidas se realizaron con un medidor portátil del intercambio gaseoso (ADC L*CiPro+* Advanced Photosynthesis Measurement System, ADC Bioscientific, Great Amwell, Herts, UK), que proporcionaba el valor de las tres variables en la misma medida, colocando en la pinza del medidor la hoja correspondiente durante dos minutos aproximadamente (**Figura 15**). El valor de cada variable se calculó a partir del valor medio resultante de las tres hojas en cada una de las medidas.



Figura 15.- Medida de la conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración con el medidor de intercambio gaseoso.

La fracción de luz interceptada por la copa del árbol o fracción de radiación fotosintéticamente activa, (F_{PAR} , %), se midió con un ceptómetro (Accupar LP-80, Decagon Devices Inc, Pullman, WA, EE.UU.), un sensor que mide el flujo de fotones fotosintético. Se realizó un barrido de la sombra proyectada a mediodía por cada árbol, tomando medidas cada 25 cm dentro de la copa, obteniendo un valor medio de radiación interceptada (**Figura 16**). Cada 5 árboles medidos, se realizó una medida a pleno sol como referencia, para determinar el PAR incidente. El porcentaje de radiación interceptada por el árbol se determinó restando el porcentaje de radiación transmitida por cada árbol del total de luz incidente (100%) (Wünsche, 1995).



Figura 16.- Medida de la interceptación de PAR por parte de la copa con el ceptómetro.

6.4.1.- Análisis de los datos

Para estudiar si la aplicación de etefón, la vibración de troncos y la interacción de ambos factores habían afectado al estado fisiológico de los árboles a corto o largo plazo, se realizó una evolución temporal de Ψ_{tallo} , g_s , A_{CO_2} , E_i y F_{PAR} en cada variedad mostrando la media \pm los intervalos de confianza al 95%.

Se consideró corto plazo el intervalo de tiempo transcurrido entre 0-30 días tras la aplicación de etefón y/o la vibración (hubo medidas justo después de los tratamientos y recolección), y medio-largo plazo a partir del día 31 en las variables Ψ_{tallo} , g_s , A_{CO_2} y E_i . En cambio, en F_{PAR} se consideró largo plazo el tiempo transcurrido hasta la siguiente brotación, ya que al ser una medida indirecta de la defoliación, había que esperar hasta que hubo hojas nuevas para poder observar una posible recuperación del valor de esa variable en el árbol.

Previamente a la realización de la evolución temporal, se analizaron los residuos de cada variable mediante una gráfica de papel probabilístico normal para identificar posibles valores anómalos. Después del estudio preliminar de la evolución temporal de datos, en las fechas donde se observaron diferencias visuales, se llevaron a cabo análisis de la varianza (ANOVA) para estudiar su significación estadística. En el caso de encontrar diferencias significativas, para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencia por mínimos

cuadrados (LSD). La asunción de la distribución normal de los datos se evaluó mediante la representación de los residuos en papel probabilístico normal, y la asunción de homocedasticidad mediante la prueba de Levene (Levene, 1960). En todos los análisis se consideró un nivel de confianza del 95%.

6.5.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN

Para la producción de los árboles recolectados a mano se consideró el total de la fruta presente en el árbol en la época de recolección. Para la producción de los árboles recolectados con el vibrador de troncos se consideró la fruta derribada por la máquina más la fruta que quedó en el árbol tras la vibración y que se recolectó manualmente. Estas variables se obtuvieron pesando el total de fruta por árbol con el dinamómetro (kg/árbol).

6.5.1.- Análisis de los datos

El factor *Técnica de recolección* no puede afectar a la producción de la misma campaña en la que se está aplicando. Sin embargo, el factor *Dosis de etefón* podría afectar a la producción de la misma campaña en que se pulveriza, ya que podría causar la caída del fruto. Por esta razón, se estudió el efecto de la *Dosis de etefón* sobre la producción total en la misma campaña por parcela con los datos de los árboles recolectados mecánicamente en la primera campaña (NTRV, ET1RV, ET2RV, ET3RV y ET4RV) mediante análisis de regresión lineal.

Ambos factores (*Dosis de etefón* y *Técnica de recolección*) podrían afectar a la producción obtenida en las siguientes campañas. Para estudiar sus efectos y sus interacciones en la producción de la siguiente campaña, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal múltiple (RLM) por parcela y campaña, excepto en el caso de las parcelas de Clemenules y Fortune, donde sólo había una campaña experimental. El análisis RLM siguió un proceso iterativo, que comenzó incluyendo la *Dosis de etefón* como variable independiente. Para probar si la relación entre la *Dosis de etefón* y la producción se vio afectada por el factor la *Técnica de recolección*, se incluyó en los modelos de regresión la variable de indicadora "*Técnica de recolección = Recolección mecánica*" que tomó el valor 1 para los datos obtenidos con la *Recolección mecánica* y 0 para los datos obtenidos con la *Recolección manual*. Después, su efecto único y su interacción con la variable

independiente también se incluyeron en el modelo. La variable con el p -valor no significativo más alto ($\alpha > 0.05$) fue eliminado y el modelo se volvió a recalcular hasta que todas las variables presentes en el modelo tuvieron coeficientes significativos.

7.- RESULTADOS

7.1.- EFICIENCIA DEL VIBRADOR DE TRONCOS SIN LA APLICACIÓN DE ETEFÓN

7.1.2.- Porcentaje de fruta derribada (%)

Los valores de porcentaje de derribo (%) (Media \pm ES) para las diferentes parcelas y campañas evaluadas se muestran la **Tabla 4** (dosis 0). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de derribo entre las parcelas ni en la campaña 09-10 ($F=2.16$; $gl=5, 29$; $p=0.0929$) ni en la 10-11 ($F=0.69$; $gl=3, 39$; $p=0.5662$) con valores entre el 70-85% y 62-71%, respectivamente. Sin embargo, se observó que se derribó significativamente más fruta en la campaña 09-10 que en la campaña 10-11 (75% frente a 67%, respectivamente) ($F=8.84$; $gl=1, 39$; $p=0.0053$).

Al analizar la parcela Orogrande 1, la única que se estudió en las tres campañas (08-09, 09-10 y 10-11), se observó una disminución no significativa del porcentaje de fruta derribada con la campaña: En la campaña 08-09 el porcentaje de fruta derribada fue del 78%, en la campaña 09-10 del 75% y en la campaña 10-11 disminuyó al 72%.

Tabla 4.- Porcentaje de fruta derribada (%) (Media \pm ES) en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad/Parcela	Campaña	Derribo de fruta (%) según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) (Media \pm ES)				
		0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	78.46 \pm 3.84	71.80 \pm 4.09	78.31 \pm 4.24	75.61 \pm 5.18	81.93 \pm 3.59
	09-10	74.98 \pm 5.46	78.60 \pm 2.98	78.12 \pm 3.86	84.42 \pm 2.30	84.47 \pm 3.60
	10-11	71.76 \pm 3.22	67.02 \pm 4.24	66.25 \pm 7.17	70.67 \pm 3.65	72.59 \pm 4.49
Orogrande 2	09-10	82.01 \pm 0.80	87.97 \pm 2.14	89.55 \pm 1.02	87.04 \pm 1.18	93.79 \pm 1.49
	10-11	62.81 \pm 2.87	71.77 \pm 3.08	74.11 \pm 3.42	78.41 \pm 3.11	84.47 \pm 1.95
Marisol	09-10	72.98 \pm 4.66	77.96 \pm 3.65	79.47 \pm 3.72	90.18 \pm 2.67	93.30 \pm 2.17
	10-11	66.03 \pm 6.08	74.69 \pm 1.99	79.44 \pm 3.93	78.86 \pm 6.46	80.58 \pm 4.62
		0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	71.14 \pm 3.49	77.96 \pm 5.42	80.20 \pm 2.90	84.82 \pm 2.41	87.62 \pm 3.69
	10-11	66.03 \pm 1.46	70.55 \pm 3.79	73.70 \pm 5.46	72.06 \pm 4.42	70.64 \pm 5.36
		0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	84.52 \pm 1.56	81.48 \pm 5.32	86.17 \pm 1.67	79.80 \pm 3.21	83.56 \pm 1.99
		0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	70.29 \pm 5.74	67.48 \pm 2.97	80.70 \pm 2.39	73.00 \pm 2.37	73.48 \pm 2.98

7.1.3.- Porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%)

Los valores de porcentaje de fruta sin cáliz (%) (Media \pm ES) para las diferentes parcelas y campañas ensayadas se muestran la **Tabla 5** (dosis 0). Comparando las cinco parcelas que se cosecharon en la campaña 09-10, se encontraron diferencias significativas en la forma de desprendimiento de la fruta entre parcelas ($F=9.19$; $gl=4, 23, 13$; $p=0.0003$). El porcentaje de fruta desprendida sin cáliz fue superior en la parcela Fortune (9.3%), algo menor en la Clemenules (6.2%) y mucho más bajo en las demás: Navel Lane Late con un 3% y en Orogrande 1 y 2, un 1.3 y 0.8%, respectivamente. En las parcelas sometidas a vibración durante las campañas 09-10 y 10-11 (Navel Lane Late, Orogrande 1 y 2) se observó una interacción estadísticamente significativa entre los factores Campaña y Parcela ($F=8.56$; $gl=2, 28$; $p=0.0017$) que indica diferencias entre campañas y que éstas dependían de las parcelas. En la parcela de la naranja tardía Navel Lane Late, el porcentaje de fruta derribada sin cáliz fue más alto en la última campaña (10-11) con un 8.4% de fruta sin cáliz, que en la primera (09-10), en la que se derribó un 3%. En las tres campañas estudiadas (08-09, 09-10 y 10-11) de la parcela Orogrande 1, se observó una disminución significativa del porcentaje de fruta derribada sin cáliz, siendo mayor el porcentaje en la campaña 08-09 (5%), pero no entre las otras dos (aprox. 1%) ($F=5.55$; $gl=2, 13$; $p=0.0216$).

Tabla 5.- Porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) (Media \pm ES) en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad/Parcela	Campaña	Fruta derribada sin cáliz (%) según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) (Media \pm ES)				
		0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	5.42 \pm 1.59	13.53 \pm 2.34	16.43 \pm 0.53	24.79 \pm 2.76	28.37 \pm 4.67
	09-10	1.30 \pm 0.78	4.04 \pm 2.28	6.45 \pm 2.66	3.79 \pm 0.87	14.24 \pm 5.98
	10-11	1.36 \pm 0.50	4.00 \pm 2.07	5.80 \pm 1.11	8.40 \pm 0.93	12.45 \pm 3.82
Orogrande 2	09-10	0.80 \pm 0.49	17.30 \pm 4.16	27.84 \pm 2.38	32.74 \pm 6.53	43.62 \pm 4.22
	10-11	0.60 \pm 0.24	4.39 \pm 1.91	5.91 \pm 0.95	6.40 \pm 2.25	15.20 \pm 2.96
Marisol	09-10			(*)		
	10-11	3.87 \pm 1.03	3.31 \pm 0.98	5.83 \pm 2.13	5.07 \pm 2.04	8.10 \pm 2.17
		0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	3.00 \pm 0.71	17.55 \pm 1.64	35.06 \pm 7.18	60.96 \pm 5.92	70.68 \pm 5.31
	10-11	8.42 \pm 1.56	11.00 \pm 4.73	25.15 \pm 8.84	28.25 \pm 6.25	36.87 \pm 8.59
		0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	6.15 \pm 1.47	6.20 \pm 3.07	10.83 \pm 2.70	12.68 \pm 3.80	17.39 \pm 4.33
		0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	9.3 \pm 5.18	28.60 \pm 5.56	31.40 \pm 2.66	32.40 \pm 8.11	34.60 \pm 2.91

(*) Datos faltantes.

Resultados

7.1.4.- Defoliación (kg hoja/árbol)

Los valores de defoliación (kg hojas/árbol) (Media \pm ES) para las diferentes parcelas y campañas ensayadas se muestran **Tabla 6** (dosis 0). La defoliación producida en los árboles sometidos a vibración por primera vez (campaña 08-09 para Orogrande 1 y 09-10 para el resto de parcelas) fue de 0.74 kg hojas/árbol en la parcela Marisol, 1.16 kg hojas/árbol en Fortune, 1.79 kg hojas/árbol en la naranja Navel Lane Late, 1.86 kg hojas/árbol en Clemenules, 1.69 kg hojas/árbol en Orogrande 2 y en Orogrande 1, 1.45 kg hojas/árbol. Se estimó visualmente que esos niveles de defoliación representarían entre un 3-6% del total de la copa.

En las parcelas sometidas a vibración durante dos campañas consecutivas (Marisol, Navel Lane Late, Orogrande 1 y 2) se observó una disminución de la defoliación en la segunda campaña en todas las parcelas. La reducción de defoliación fue del 17.31% en Navel Lane Late, un 22.06% en Orogrande 1, un 22.91% en Marisol, y un 43.78% en Orogrande 2. Sin embargo, en la tercera campaña de Orogrande 1 los valores de defoliación fueron similares a los de la primera campaña.

Tabla 6.- Defoliación producida (kg/hojas/árbol) (Media \pm ES) en función de la variedad, la campaña y la dosis de aplicada.

Variedad/Parcela	Campaña	Hojas desprendidas (kg/hojas/árbol)) según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) (Media \pm ES)				
		0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	1.45 \pm 0.27	1.48 \pm 0.34	1.58 \pm 0.17	2.22 \pm 0.27	2.74 \pm 0.47
	09-10	1.13 \pm 0.23	1.21 \pm 0.11	1.60 \pm 0.31	2.15 \pm 0.30	2.05 \pm 0.19
	10-11	1.37 \pm 0.12	1.57 \pm 0.27	1.78 \pm 0.37	2.33 \pm 0.25	2.32 \pm 0.29
Orogrande 2	09-10	1.69 \pm 0.13	2.69 \pm 0.28	3.23 \pm 0.39	2.90 \pm 0.32	2.98 \pm 0.26
	10-11	0.95 \pm 0.18	1.28 \pm 0.14	1.55 \pm 0.15	1.95 \pm 0.18	2.26 \pm 0.09
Marisol	09-10	0.74 \pm 0.17	1.10 \pm 0.11	1.34 \pm 0.12	1.70 \pm 0.10	2.26 \pm 0.06
	10-11	0.57 \pm 0.10	1.02 \pm 0.11	1.06 \pm 0.07	1.14 \pm 0.16	1.15 \pm 0.08
		0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	1.79 \pm 0.21	3.27 \pm 0.25	4.20 \pm 0.54	5.13 \pm 0.33	7.18 \pm 0.17
	10-11	1.48 \pm 0.17	3.19 \pm 0.63	2.84 \pm 0.35	4.46 \pm 0.40	5.35 \pm 0.83
		0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	1.86 \pm 0.05	2.61 \pm 0.17	3.19 \pm 0.18	3.35 \pm 0.16	3.70 \pm 0.20
		0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	1.16 \pm 0.14	3.51 \pm 0.28	4.67 \pm 0.32	5.63 \pm 0.11	6.43 \pm 0.37

7.2.- EFICIENCIA DE LA RECOLECCIÓN CON LA APLICACIÓN DE ETEFÓN

7.2.1.- Porcentaje de fruta derribada (%)

Los valores de porcentaje de derribo (%) (Media \pm ES) para las diferentes parcelas, campañas ensayadas y dosis de etefón se muestran la **Tabla 4**. Analizando la campaña 09-10 se observa que el porcentaje de derribo aumentó significativamente conforme se incrementó la dosis del abscisor. Dicho incremento dependió de las parcelas, como indica el hecho de que las variables indicadoras que multiplican a la variable dosis sean significativas (excepto en las parcelas de Navel Lane Late, y en las dos Orograndes) (Tabla R1, Anejo de tablas A, Resultados regresión). Recordemos que las variables indicadoras señalan cambios de comportamiento frente a la parcela Orogrande 1. La parcela Marisol fue más sensible a la aplicación de etefón, ya que su variable indicadora actúa positivamente sobre la pendiente, mientras que Fortune y Clemenules fueron menos sensibles que la parcela Orogrande 1 (signo negativo del coeficiente de regresión). Las parcelas Navel Lane Late y Orogrande 1 se comportaron de manera similar (no aparece la variable indicadora de Navel Lane Late ni la de Orogrande 1 ya que resultaron no significativas),

En la campaña 10-11, se observó de nuevo que existía un efecto de la dosis de etefón ($F=13.45$; $g.l.=2, 98$; $p<0.0001$) y que era distinto según las parcelas (Tabla R2, Anejo de tablas A). La respuesta de la parcela Orogrande 2 fue más sensible a la dosis que las demás, y fue similar a la de Marisol. Como el año anterior, Orogrande 1 y Navel Lane Late fueron las menos sensibles.

Al analizar la evolución de los datos de la parcela Orogrande 1 a lo largo de las tres campañas estudiadas (08-09, 09-10 y 10-11), se apreciaron variaciones significativas en la respuesta en las tres campañas, ya que resultaron significativos los coeficientes de regresión que multiplicaban a las variables indicadoras de las campañas 08-09 y 09-10 por la dosis. Los árboles fueron más sensibles a la dosis en la campaña 09-10 (Tabla R3, Anejo de tablas A).

7.2.3.- Porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%)

Los valores de porcentaje de fruta derribada sin cáliz (Media \pm ES) para las diferentes parcelas, campañas ensayadas y dosis de etefón se muestran la **Tabla 5**. En general, se observó que a mayor dosis de etefón aplicada se obtuvieron mayores porcentajes de fruta derribada sin cáliz. Además, el porcentaje de fruta derribada sin cáliz fue mayor en la primera campaña de ensayos.

En la campaña 09-10, el porcentaje de fruta desprendida sin cáliz debido al efecto del etefón fue significativamente diferente según las parcelas (Tabla R4, Anejo de tablas A). En Navel Lane Late se observó la mayor sensibilidad, ya que se produjo un efecto mayor del etefón en la falta del cáliz, seguido de Orogrande 2. En Fortune se produjo un efecto similar al que ocurrió en Orogrande 1 y Clemenules, aunque en éstas fue menor la cantidad de fruta sin cáliz, indicando que la sujeción de éste al pedúnculo era mayor.

En la campaña 10-11, el etefón influyó sobre el porcentaje de fruta desprendida sin cáliz de manera similar. El porcentaje de fruta sin cáliz en la parcela Navel Lane Late fue mayor que en las dos Orograndes, y fue la parcela más sensible a la dosis de etefón (Tabla R5, fila 5, Anejo de tablas A). Esta respuesta nos indica que esta variedad de naranja tardía es más sensible al efecto abscisor del etefón que las mandarinas Orogrande.

Al analizar la evolución de esta variable en Orogrande 1 durante las tres campañas estudiadas, se observó que el porcentaje de fruta desprendida sin cáliz fue mayor en la campaña 08-09 y que en ésta el efecto de la dosis se manifestó de manera más acusada (Tabla R6, Anejo de tablas A).

7.2.4.- Defoliación (kg hoja/árbol)

Los valores de defoliación (kg hojas/árbol) (Media \pm ES) para las diferentes parcelas, campañas ensayadas y dosis de etefón se muestran la **Tabla 6**.

Resultados

En todas las campañas y parcelas, el aumento de la dosis de etefón se tradujo en un aumento de la defoliación, tal y como muestra la Tabla R7 (Anejo de tablas A). En el primer año de experiencias (campaña 09-10 para todas las parcelas salvo para Orogrande 1, que fue la 08-09) los resultados variaron entre 6-7 kg hojas/árbol en la máxima dosis en Navel Lane Late y Fortune y 2-4 kg hojas/árbol derribadas en las demás. Esta cantidad de hojas representó visualmente alrededor del 5-20% del total de la copa.

En el segundo año de experiencias (campaña 10-11) para todas las parcelas salvo para Orogrande 1, que fue la 09-10) de nuevo se observó que a mayor dosis de etefón se produjo significativamente una mayor defoliación. En esta campaña, en Navel Lane Late se desprendieron 5.35 kg hojas/árbol con la mayor dosis aplicada y alrededor de 2 kg hojas/árbol en el resto de parcelas

En general se volvió a observar que la defoliación producida fue menor en el segundo año de experiencias que en el primer año.

Al estudiar la defoliación en los tres años de experiencias de Orogrande 1, se observó que la cantidad de hojas desprendidas no estuvo afectada por la campaña y que aumentaba significativamente con la dosis.

Los resultados de eficiencia han sido publicados en la revista Spanish Journal of Agricultural Research.

7.3.- ESTADO DE LA FRUTA EN EL MOMENTO DE LA RECOLECCIÓN Y EFECTO DEL ETEFÓN SOBRE SU CALIDAD INTERNA Y EXTERNA

7.3.1.- FRF (N)

Los valores de FRF (Media±ES) antes de la aplicación variaron entre variedades pero los valores apenas cambiaron entre campañas para cada variedad. En las dos parcelas de Orogrande y en Clemenules oscilaron entre 66 y 76 N. Los mayores valores de FRF los

mostró Navel Lane Late (123-146 N) y los menores las variedades Marisol y Fortune (36-50 N) (**Tabla 7**).

En la variedad Orogrande 1 la aplicación de diferentes dosis de etefón en las tres campañas (08-09, 09-10 y 10-11) no afectó a la FRF ya que la dosis no fue significativa (Tabla R8, Anejo de tablas A, Resultados Regresión). Los valores de FRF fueron significativamente más altos en la campaña 09-10 que en las campañas 08-09 y 10-11, de ahí que las variables indicadoras correspondientes a estas campañas fueron significativas.

Por el contrario, en la variedad Orogrande 2 se observó que la aplicación de etefón disminuyó significativamente la FRF conforme incrementó la dosis del abscisor pero su efecto fue diferente en función de la campaña (Tabla R8, Anejo de tablas A). En la campaña 09-10 el efecto de la dosis de etefón fue elevado pasando la FRF de valores de 75 a 57 N mientras que en la campaña 10-11 el efecto fue mucho menor (**Tabla 7**). De igual manera ocurrió en la variedad de mandarina temprana Marisol, ya que conforme aumentó la dosis de etefón disminuyeron los valores de FRF ($F=7.26$; g.l.=3, 48; $p=0.0005$), siendo más acusado el efecto en la campaña 09-10 que en la campaña 10-11 (**Tabla 7** y Tabla R8, Anejo de tablas A).

La parcela de naranja tardía Navel Lane Late fue muy sensible a la aplicación de etefón, siendo esta disminución dependiente de la campaña (Tabla R8, Anejo de tablas A). En la campaña 09-10 disminuyó 50 N (pasó de 118 a 68 N) y 40 N en la 10-11 (pasó de 130 a 91 N) (**Tabla 7**).

En las variedades de mandarina Clemenules y en el híbrido Fortune no se observó un efecto en la disminución de la FRF por parte del etefón resultando ambos modelos de regresión no significativos (Tabla R8, Anejo de tablas A).

Resultados

Tabla 7.- FRF (N) (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad (Parcela)	Campaña	FRF (N) antes de la aplicación	FRF (N) según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) en el momento de recolección (Media±ES)				
			0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	70.79±1.19	58.94±1.46	62.32±2.81	61.78±2.54	52.24±9.11	60.49±4.91
	09-10	68.92±2.64	77.29±3.51	63.35±4.47	64.50±7.51	70.88±7.52	61.13±10.33
	10-11	76.21±1.94	57.04±4.58	59.16±7.92	53.43±3.08	57.28±6.64	57.13±2.79
Orogrande 2	09-10	66.24±1.50	74.96±4.11	66.73±1.70	63.43±2.32	58.52±1.27	57.59±3.35
	10-11	71.86±2.00	53.92±4.59	43.47±5.49	55.55±3.95	46.42±5.00	51.41±4.13
Marisol	09-10	46.35±1.09	42.00±2.94	40.58±1.02	38.82±5.10	31.55±3.81	25.53±6.25
	10-11	36.55±0.94	35.64±2.29	40.86±3.61	38.19±2.68	41.74±2.23	45.46±2.82
			0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	70.47±1.76	71.00±6.19	75.71±3.21	77.10±5.39	75.90±2.25	71.71±2.98
			0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	50.53±1.31	47.06±2.72	42.57±4.64	49.62±2.48	38.02±2.21	47.37±1.86
			0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	123.50±2.66	118.29±2.41	105.27±6.29	126.20±7.36	97.28±7.39	68.00±8.07
	10-11	146.50±3.85	129.65±6.80	119.87±8.25	118.36±11.52	112.98±9.56	90.99±8.11

7.3.2.- ICC

Los valores del ICC de la fruta antes y después de la aplicación de etefón ($\text{Media} \pm \text{ES}$) para las diferentes variedades, dosis y campañas se muestran en la **Tabla 8**. En general se observó que el ICC antes de la aplicación de etefón fue menor en la campaña 10-11 en todas las variedades en las que se repitió el ensayo y que las variedades tempranas Orogrande y Marisol se recolectaron con valores de ICC negativos que se corresponden con frutos con coloración verde mientras que las variedades Clemenules, Fortune y Navel Lane Late con valores de ICC positivos que se corresponden con frutos de coloración naranja.

En la variedad Orogrande 1 la aplicación de etefón aumentó significativamente el ICC y dicho aumento varió en función de la campaña (Tabla R9, Anejo de tablas A, **Figura 17**). La relación del ICC y la dosis en la campaña 08-09 presentó una pendiente menor que la relación de las campañas 09-10 y 10-11. También se observó que el término independiente fue distinto para cada campaña, siendo el de la campaña 09-10 el valor menor, el de la 10-11 el valor intermedio y el de la 11-12 el mayor. De igual manera, en la parcela de Orogrande 2 se observó un aumento significativo del ICC conforme aumentaba la dosis de etefón y que también dicho aumento dependió de la campaña (**Tabla 8** y Tabla R9, Anejo de tablas A) En la campaña 10-11 la pendiente de la curva fue menor que en la campaña 09-10. En la variedad de mandarina temprana Marisol se observó un efecto de la dosis de etefón en el aumento de ICC (Tabla R9, Anejo de tablas A) independientemente de que en la campaña 10-11 el color de los frutos fuera menor que en la campaña 09-10.

Resultados

Tabla 8.- ICC (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad (Parcela)	Campaña	ICC antes de la aplicación	ICC según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) en el momento de recolección (Media±ES)				
			0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	-8.97±0.45	-0.89±0.83	1.81±1.08	2.36±1.33	-0.31±1.18	-0.22±0.35
	09-10	-9.14±0.61	-7.02±1.06	-2.95±1.97	-2.69±1.25	-1.03±1.42	-0.29±1.92
	10-11	-13.00±0.30	-4.69±1.35	-2.07±1.19	0.09±0.93	0.43±0.45	0.18±0.77
Orogrande 2	09-10	-6.95±0.85	-4.92±1.83	2.90±0.68	1.37±1.94	5.63±0.55	-0.58±2.78
	10-11	-12.69±0.32	0.01±1.03	-2.08±0.92	-2.26±0.43	-0.65±1.00	-1.12±0.80
Marisol	09-10	-13.86±0.55	-9.08±1.62	-2.93±1.45	-4.01±1.05	-2.88±1.83	-0.91±1.72
	10-11	-17.26±0.39	-15.10±0.96	-12.30±1.63	-11.12±2.25	-5.61±1.44	-5.71±0.65
			0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	3.22±0.43	9.71±1.04	10.13±0.94	11.30±0.96	10.98±0.53	11.50±0.78
			0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	16.25±0.31	16.66±0.58	16.12±0.56	16.42±0.85	16.72±0.42	15.93±0.50
			0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	10.31±0.49	11.64±0.32	12.06±0.41	12.09±0.35	12.16±0.35	12.55±0.55
	10-11	5.88±0.50	9.19±0.31	6.35±0.37	5.05±0.78	6.11±0.46	5.03±0.49

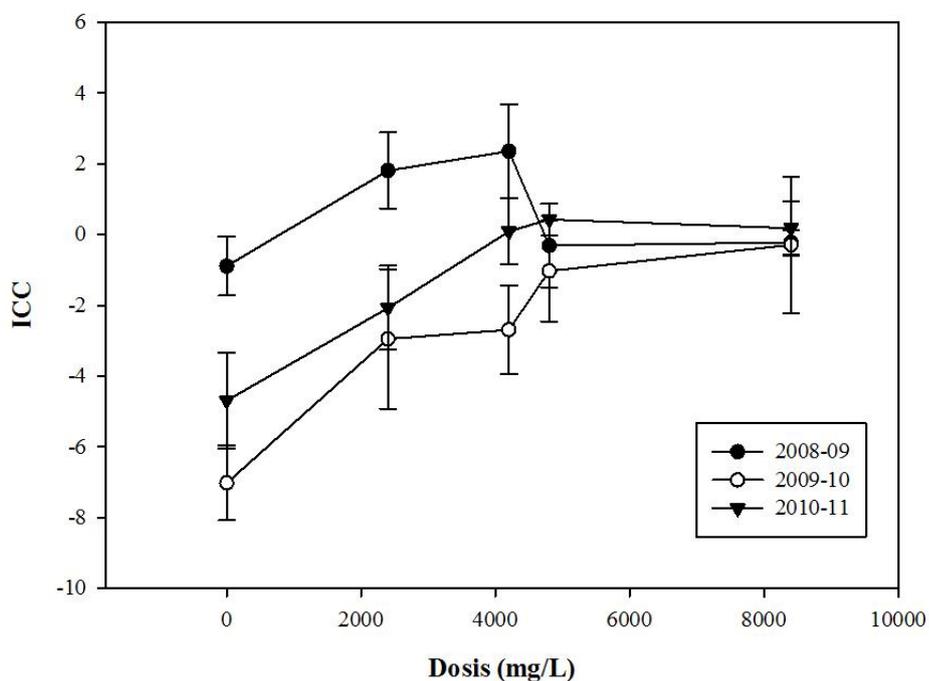


Figura 17.- Ejemplo de la relación entre el ICC (Medias \pm ES) y la dosis de etefón. Resultados de la parcela Orogrande 1 en las tres campañas.

Por el contrario, en la mandarina Clemenules y en el híbrido Fortune, no se observó un efecto de la dosis de etefón sobre el ICC, ya que sus respectivos modelos de regresión no resultaron significativos (Tabla R9, Anejo de tablas A).

En la variedad de naranja tardía Navel Lane Late en contra del efecto esperado se observó una disminución significativa del ICC conforme aumentaba la dosis de etefón en la campaña 10-11 mientras que en la 09-10 no se observó tal efecto. Con el fin de intentar encontrar una explicación a estos resultados se decidió analizar el ICC de esta variedad antes de la aplicación del abscisor en ambas campañas (09-10 y 10-11) mediante un ANOVA para observar la tendencia que mostraban los datos. Además, para estudiar el efecto del etefón en el ICC antes de tratar en la campaña 10-11, se realizó una regresión lineal simple en todas las variedades analizadas. Los resultados del análisis de la varianza

Resultados

mostraron que en la campaña 09-10 los frutos que iban a ser tratados con las diferentes dosis de etefón presentaban un ICC igual, ya que partían de los mismos valores. Sin embargo, en la campaña 10-11 los frutos que iban a ser tratados con etefón presentaban diferencias significativas entre las diferentes tesis ($F=11.25$; $gl=4, 47$; $p<0.0001$) (**Figura 18**). Los árboles que en la campaña anterior 09-10 habían recibido etefón mostraban frutos con menor ICC que los que no habían sido tratados.

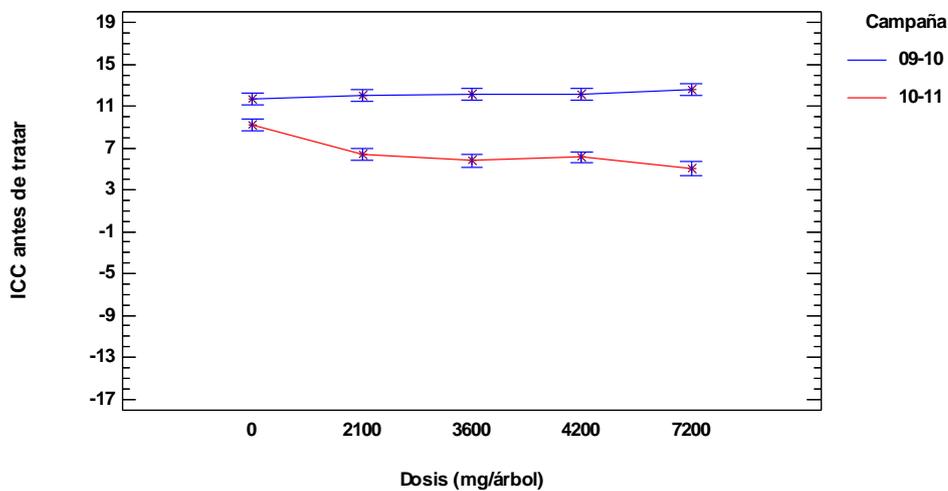


Figura 18.- Interacción entre la dosis aplicada y la campaña para el ICC antes de los tratamientos en la variedad Navel Lane Late. Intervalos LSD con un nivel de confianza del 95%.

Además esta disminución era mayor conforme aumentaba la dosis tratada (**Figura 18** y **Tabla 8**). Por lo tanto, se concluye que en la parcela de Navel Lane Late la aplicación de etefón en la campaña anterior afectó al ICC de la campaña siguiente y que lo hizo en función de la dosis, tal y como mostró el análisis de regresión ($F=28,48$; $g.l.=1,22$; $p<0.0001$) (Tabla R9, Anejo de tablas A). Asimismo, se comprobó que en el resto de variedades en las

que se repitió el ensayo no hubo tal disminución del ICC debido al etefón, ya que el modelo de regresión no fue significativo (Tabla R9, Anejo de tablas A).

7.3.3.- Porcentaje de deformación de la corteza (%)

El porcentaje de deformación de la corteza antes de la aplicación de etefón fue similar en todas las variedades y las campañas evaluadas (08-09 y 09-10), con valores que oscilaban entre 2.69-3.65 (**Tabla 9**). En la variedad Orogrande 1 se observó que la dosis de etefón no tuvo efecto sobre la deformación de la corteza en ninguna de las campañas y que los valores fueron menores en la campaña 09-10 que en la 08-09 (Tabla R10, Anejo de tablas A). En la parcela de Orogrande 2 la dosis resultó significativa en el modelo de regresión, por lo que la existía una relación entre la dosis y la deformación de la corteza aunque dicha relación fuera mínima, ya que el valor de la pendiente fue de 0.00007. De igual manera ocurrió en la variedad Clemenules siendo la pendiente en este caso de 0.00004. En la mandarina Marisol, en la naranja Navel Lane Late y en el híbrido Fortune las dosis de etefón no tuvieron efecto sobre la deformación de la corteza (Tabla R10, Anejo de tablas A)

Resultados

Tabla 9.- Deformación de la corteza (%) (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad (Parcela)	Campaña	Deformación (%) antes de la aplicación	Deformación de la corteza (%) según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) en el momento de recolección (Media±ES)				
			0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	3.59±0.08	4.20±0.06	4.18±0.20	4.63±0.26	3.98±0.21	4.08±0.21
	09-10	2.99±0.09	3.08±0.18	3.39±0.20	2.98±0.18	2.81±0.11	2.95±0.14
Orogrande 2	09-10	3.33±0.10	3.09±0.07	3.74±0.16	3.73±0.15	3.92±0.19	3.73±0.24
Marisol	09-10	3.65±0.09	3.69±0.33	4.58±0.19	4.36±0.47	4.42±0.58	4.62±0.40
			0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	3.49±0.07	3.64±0.16	3.74±0.05	3.79±0.08	3.76±0.12	4.01±0.05
			0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	3.19±0.08	3.38±0.17	3.24±0.11	3.58±0.16	3.54±0.17	3.54±0.20
			0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	2.69±0.09	2.36±0.14	2.41±0.19	2.60±0.15	2.38±0.21	2.55±0.18

7.3.4.- IM

Los valores obtenidos de IM antes de la aplicación fueron similares entre las campañas de la variedad Orogrande (1 y 2) y su valor estaba en torno a 11. Las variedades más ácidas (Marisol y Fortune) oscilaban entre 5.44-7.17. Por otro lado la naranja tardía Navel Lane Late y la clementina Clemenules mostraron un IM en torno a 13 (**Tabla 10**).

Al analizar el IM para cada una de las variedades en las campañas ensayadas (08-09 y 09-10 para Orogrande 1 y 09-10 para el resto) se observó que la aplicación de etefón no tuvo efecto sobre el IM en ningún caso, ya que el coeficiente de regresión de la variable dosis no resultó significativo (Tabla R11, Anejo de tablas A). Tampoco se observaron diferencias de IM entre campañas.

Estos resultados demuestran que las aplicaciones de etefón realizadas aparentemente no afectaron a la calidad interna del zumo de variedades estudiadas.

Resultados

Tabla 10.- IM (Media±ES) antes de la aplicación de etefón y en el momento de recolección en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad (Parcela)	Campaña	IM antes de la aplicación	IM según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) en el momento de recolección (Media±ES)				
			0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	11.00±0.17	12.38±0.35	11.90±0.70	11.87±0.19	12.85±0.55	12.74±0.19
	09-10	10.52±0.20	11.70±0.44	12.01±0.45	12.59±0.64	12.01±0.31	12.19±0.39
Orogrande 2	09-10	11.11±0.26	11.53±1.06	12.37±0.36	11.92±0.36	12.69±0.44	11.65±1.13
Marisol	09-10	7.17±0.27	8.50±1.96	12.04±2.10	9.07±1.30	11.20±1.27	9.61±1.52
			0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	13.02±0.19	14.45±0.46	13.64±0.41	14.38±0.31	14.98±0.23	13.95±0.23
			0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	5.44±0.11	5.79±0.26	5.27±0.26	5.40±0.34	4.81±0.19	5.33±0.18
			0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	12.97±0.32	13.14±1.13	13.04±0.89	14.88±0.69	12.74±0.97	12.41±0.77

7.3.5.- Porcentaje de manchas (%)

En el momento de la recolección se observaron manchas amarillentas o verdosas en la corteza de algunos frutos tratados (**Figura 19**), que no aparecían en los de los árboles control. Estas manchas eran similares a las quemaduras producidas por herbicidas y se localizaban generalmente en la zona basal y lateral del fruto, donde el producto aplicado escurría y se acumulaba en gotas, que al secarse, dejaban un halo blanquecino.

Las parcelas y campañas en las que se observaron estas manchas fueron: Orogrande 1, Orogrande 2 y Marisol en las campañas 09-10 y 10-11 y Clemenules en la campaña 09-10. Por el contrario, no se observaron manchas en las parcelas y campañas siguientes: Orogrande 1 en la campaña 08-09, Fortune en la campaña 09-10 y Navel Lane Late en las campañas 09-10 y 10-11. Al comparar las diferencias de aparición de manchas en los frutos entre parcelas y campañas se observó que las que presentaban manchas se correspondían con parcelas en las que los días transcurridos entre la aplicación de etefón y la recolección eran de 8-12 mientras que las que no presentaban manchas eran de 6-8. Los valores de porcentaje de fruta con manchas (Media \pm ES) para las diferentes variedades, dosis y campañas se muestran la **Tabla 11**.

Resultados

Tabla 11.- Fruta con manchas (%) (Media±ES) en el momento de recolección, en función de la variedad, la campaña y la dosis de etefón aplicada.

Variedad (Parcela)	Campaña	Fruta con manchas (%) según la dosis de etefón aplicada (mg/árbol) en el momento de recolección (Media±ES)				
		0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	08-09	Sin manchas				
	09-10	1.20±0.58	16.00±2.63	16.40±3.41	28.00±5.19	36.60±6.31
	10-11	2.20±0.97	12.80±3.71	14.80±4.05	14.20±2.94	29.20±2.62
Orogrande 2	09-10	6.59±3.26	33.25±6.28	47.49±5.96	45.00±9.10	43.76±8.31
	10-11	0.00±0.00	10.75±2.02	17.00±4.48	9.40±2.25	31.80±3.98
Marisol	09-10	Con manchas sin evaluar				
	10-11	0.15±0.15	2.77±0.79	3.12±1.29	4.59±0.51	3.86±2.51
		0	2700	4800	5400	9600
Clemenules	09-10	1.18±0.58	11.63±4.08	38.76±4.90	24.09±3.87	40.18±4.53
		0	3900	6300	7800	12600
Fortune	09-10	Sin manchas				
		0	2100	3600	4200	7200
Navel Lane Late	09-10	Sin manchas				
	10-11	Sin manchas				

En la parcela Orogrande 1, Orogrande 2 y Clemenules la presencia de manchas dependió de la dosis de etefón mientras que en la parcela de Marisol hubo diferencias de fruta manchada entre la tratada con etefón y la no tratada, pero la cantidad de fruta manchada no dependió de la dosis de producto aplicada (Tabla R12, Anejo de tablas A). En la parcela Orogrande 1 y Orogrande 2 además se observa que la aparición de manchas fue diferente entre las campañas ensayadas. En la campaña 10-11 el porcentaje de fruta con manchas, que se evaluó a los 10 días de tratamiento, fue menor que en la campaña 09-10, cuya evaluación se hizo a los 12 días.



Figura 19.- Arriba. Frutos no tratados con etefón que no presentaron manchas. Abajo. Frutos tratados con la segunda y mayor dosis de etefón (izquierda y derecha respectivamente) que presentaron manchas en la corteza y un halo blanquecino debido al secado de las gotas de producto acumulado.

Resultados

7.4.- EFECTO DE LA VIBRACIÓN Y DEL ETEFÓN SOBRE EL ESTADO FISIOLÓGICO DE LOS ÁRBOLES

7.4.1.- Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo})

Todos los árboles dentro de cada parcela tenían un estado hídrico similar antes de los tratamientos (**Figura 20**). A lo largo del experimento, los valores registrados en Ψ_{tallo} en las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol y Clemenules oscilaron entre - 0,71 a - 2,23 MPa, mientras que en las parcelas de Fortune y Navel Lane Late oscilaron entre -0,46 a -1,56 MPa. Los valores de Ψ_{tallo} generalmente más bajos se registraron en las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol y Clemenules en comparación con Fortune y Navel Lane Late, habiéndose tomado la mayoría de las medidas de Ψ_{tallo} en esas parcelas durante el invierno, cuando la recolección se lleva a cabo en estas variedades. Sin embargo, los valores más bajos de Ψ_{tallo} se registraron durante el verano en las parcelas de Orogrande 1 y Orogrande 2 (alrededor de -1,4 MPa), estando por debajo del valor de Ψ_{tallo} recomendado para los cítricos correctamente regados.

Las aplicaciones de etefón no tuvieron efectos perjudiciales sobre el estado hídrico del árbol en cualquiera de las variedades estudiadas (**Figura 20**). En Orogrande 1, Orogrande 2 y Clemenules no se encontraron diferencias significativas de Ψ_{tallo} entre los tratamientos después de las aplicaciones de etefón (Tabla A1, Anejo de tablas B, Resultados ANOVA). En las parcelas de Marisol y Navel Lane Late los árboles tratados con etefón mostraron mayor Ψ_{stem} que los árboles no tratados justo después de las aplicaciones etefón (**Figura 20**). De hecho, en la parcela de Marisol, el 1/10/2009 (7 días después de la aplicación etefón), los valores de Ψ_{tallo} en los tratamientos ET4RM y ET4RV fueron significativamente más altos que en el tratamiento NTRV. En la parcela de Navel Lane Late, en la fecha 16/3/2010 (1 día después de la aplicación etefón), el valor de Ψ_{tallo} para ET4RV fue significativamente mayor que el resto de los tratamientos (Tabla A1, Anejo de tablas B). En la parcela Fortune el tratamiento ET4RM los valores de Ψ_{tallo} eran generalmente más altos

que los otros tratamientos durante toda la campaña (**Figura 20**), siendo significativamente más alto que el tratamiento NTRM en la fecha 6/4/2010 (5 días después de la aplicación de etefón) (Tabla A1, Anejo de tablas B).

El Ψ_{tallo} tampoco se vio afectado negativamente por la vibración del tronco de los árboles en cualquiera de las variedades estudiadas (**Figura 20**, Tabla A1, Anejo de tablas B). En las parcelas Orogrande 1, Orogrande 2, Clemenules y Navel Lane Late no se encontraron diferencias significativas de Ψ_{tallo} entre los tratamientos después de la recolección con el vibrador de tronco (Tabla A1, Anejo de tablas B). En la parcela de Marisol, el 19/10/2009 (17 días después de la recolección), los valores de Ψ_{tallo} en el tratamiento NTRV fueron significativamente más altos que en el control (NTRM) y en los tratamientos ET4RM y ET4RV. En la parcela Fortune no se encontraron diferencias significativas de Ψ_{tallo} entre el control y los tratamientos en los árboles se recolectaron mecánicamente (Tabla A1, Anejo de tablas B).

En conclusión, los tratamientos control (NTRM) mostraron valores inferiores o similares de Ψ_{tallo} que el resto de los tratamientos con sólo la aplicación de etefón (ET4RM), sólo recolectados con vibrador de troncos (NTRV) o ambos (ET4RV) de manera que ambos factores no afectan al Ψ_{tallo} de los árboles, traduciéndose esto en que el estado hídrico de mandarinos y naranjos no se ve afectado por la aplicación de etefón, la vibración de troncos o por el efecto conjunto de ambas experiencias a corto y largo plazo, incluso al repetir el ensayo al año siguiente.

Resultados

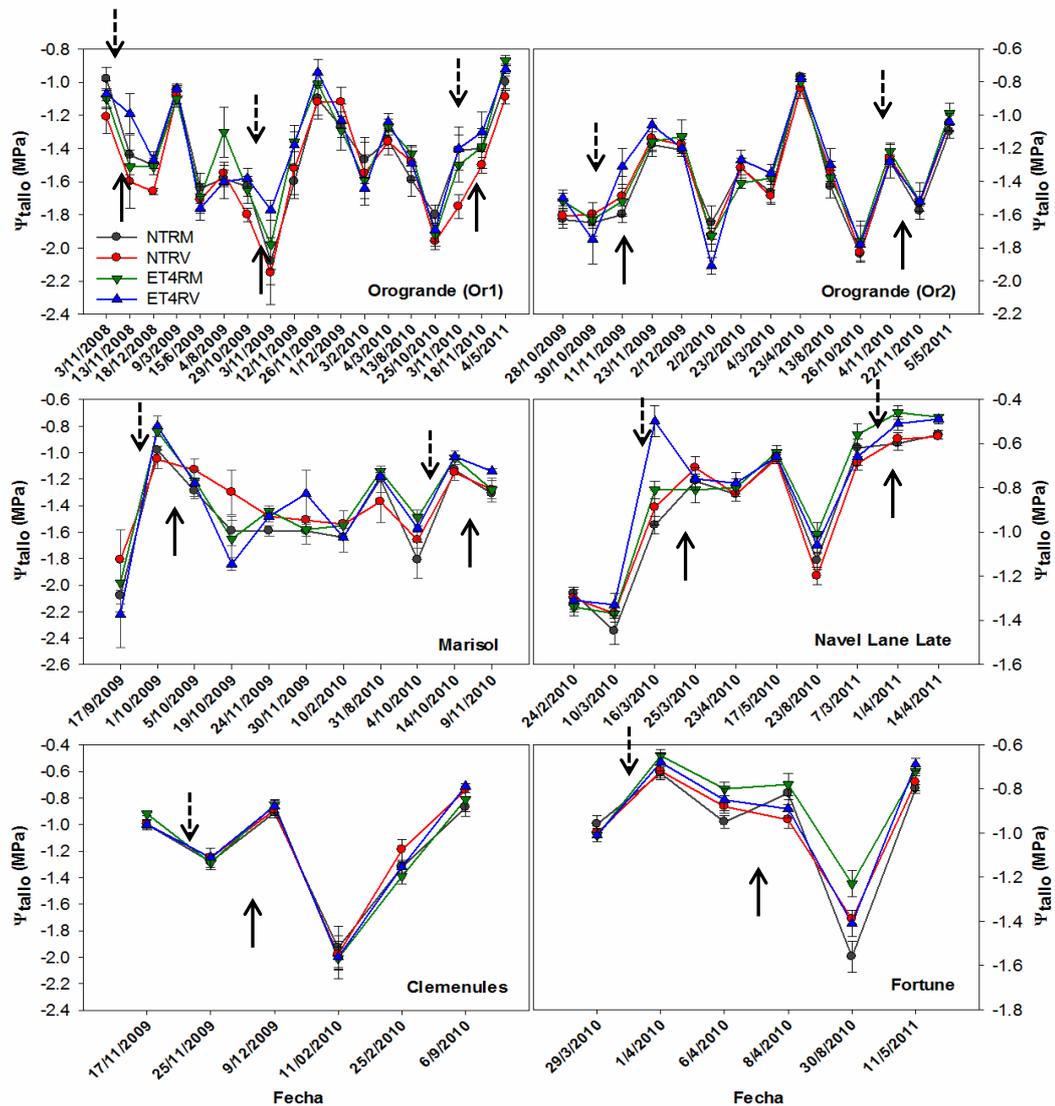


Figura 20.- Evolución del potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada (Ψ_{tallo} , MPa) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las flechas hacia arriba indican la fecha de recolección.

7.3.2.- Conductancia estomática (g_s)

En general todos los árboles dentro de cada parcela partieron de valores de g_s similares al comienzo del experimento. Una vez que empezaron los tratamientos, el parámetro g_s varió en función de la variedad estudiada (**Figura 21**).

Las aplicaciones de etefón y la recolección mecánica no tuvieron efecto sobre g_s en las parcelas de Orogrande 2 y Fortune ya que no se encontraron diferencias ni visuales ni significativas entre NTRM y el resto de los tratamientos (Tabla A2, Anejo de tablas B).

En la parcela Orogrande 1, sólo se encontraron diferencias entre los tratamientos el 9/3/2009, cuando los valores de g_s fueron significativamente mayores para los tratamientos de etefón (ET4RM y ET4RV) que para los tratamientos sin etefón (NTRM y NTRV), (Tabla A2, Anejo de tablas B), por lo que no se encontró efecto perjudicial alguno sobre g_s .

En la parcela Clemenules, las diferencias entre tratamientos sólo se encontraron el 25/11/2009 (2 días después de la aplicación etefón) pero ningún efecto perjudicial se encontró ya que el tratamiento de control mostró el valor más bajo (Tabla A2, Anejo de tablas B).

En la parcela Marisol, el 19/10/2009 (17 días después de la recolección en la primera campaña) los tratamientos NTRM y ET4RM presentaron valores más altos de g_s respecto a los árboles recolectados mecánicamente (NTRV y ET4RV) y las diferencias de valores fueron significativas entre los tratamientos de árboles recolectados a mano y el tratamiento ET4RV (Tabla A2, Anejo de tablas B). Sin embargo, un mes más tarde las diferencias entre tratamientos desaparecieron (**Figura 21**). Durante la segunda campaña experimental, un día después de la recolección (el 19/10/2010), el tratamiento NTRM mostró valores significativos de g_s más altos que el resto de los tratamientos, aunque 21 días más tarde estas diferencias entre tratamientos también desaparecieron (Tabla A2, Anejo de tablas B).

En la parcela Navel Lane Late y durante el año 2010, en general los árboles NTRM tuvieron valores de g_s más altos que el resto de los tratamientos (**Figura 21**). Dos días después de la aplicación etefón, el 17/3/2010, las diferencias de g_s entre NTRM y el resto de

Resultados

los tratamientos fueron significativas, incluso entre NTRM y NTRV, cuyos árboles habían recibido el mismo tratamiento hasta la recolección, así que el efecto de la aplicación de etefón no puede ser demostrada. De todos modos, estas diferencias desaparecieron 5 días más tarde (22/4/2010) (Tabla A2, Anejo de tablas B). Después de la recolección (25/3/2010), se encontraron diferencias significativas en g_s . Los tratamientos NTRM y NTRV alcanzaron valores significativamente mayores que los árboles tratados con etefón (ET4RM y ET4RV). En 2011, un día después de la aplicación de etefón, el 23/3/2011, los árboles no tratados (NTRM y NTRV) también alcanzaron valores de g_s superiores a los de los árboles tratados con etefón (ET4RM y ET4RV), siendo estas diferencias significativas. Para el resto de la campaña, incluso después de la recolección, no se observaron diferencias entre los tratamientos.

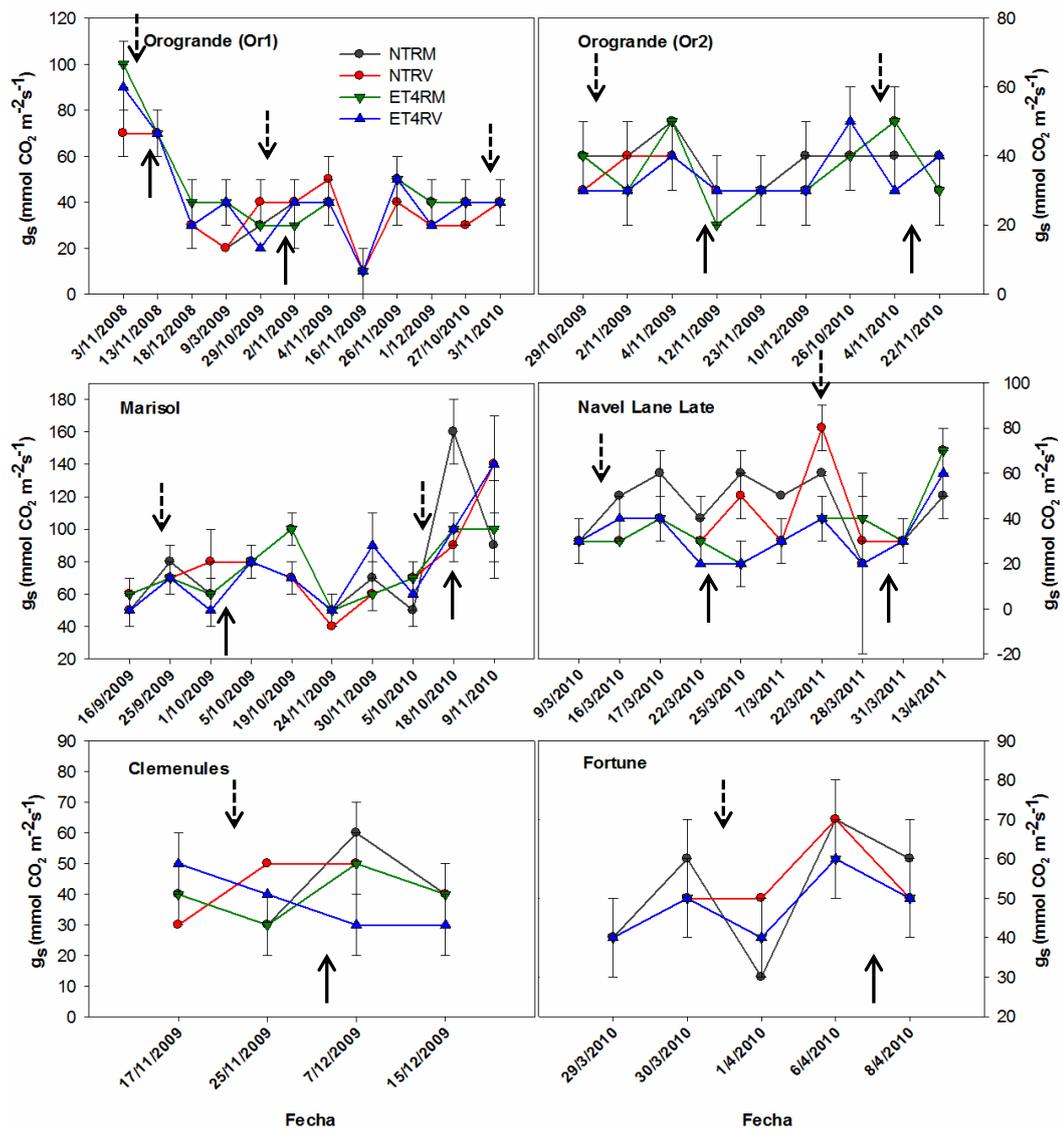


Figura 21.- Evolución de la conductancia estomática (g_s , $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las fechas hacia arriba indican la fecha de recolección.

7.3.3.- Fotosíntesis neta (A_{CO_2})

En general, los valores de A_{CO_2} fueron similares entre todos los árboles dentro de cada parcela al inicio del experimento (**Figura 22**). Las aplicaciones de etefón y la recolección mecanizada no tuvieron un efecto significativo en la disminución de A_{CO_2} en las parcelas de Clemenules y Fortune (Tabla A3, Anejo de tablas B).

En la parcela Orogrande 2, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos dos días después de la aplicación de etefón (4/11/2010) y diez días después de la vibración (22/11/2010). Sin embargo, el 4/11/2010 el tratamiento control no era significativamente diferente de los árboles tratados con etefón (ET4RM y ET4RV), de modo que no se observó efecto un perjudicial de etefón (Tabla A3, Anejo de tablas B). El 22/11/2010 (10 días después de la vibración), los tratamientos recolectados mecánicamente (NTRV y ET4RV) mostraron los valores más bajos de A_{CO_2} , pero sólo el tratamiento NTRV mostró significativamente los valores más bajos respecto a los tratamientos recogidos a mano.

En Orogrande 1 en la campaña 2009, el 1/12/2009 (20 días después de la recolección mecánica), se observó una tendencia similar a Orogrande 2, puesto que los tratamientos de recolección mecánica (NTRV y ET4RV) presentaron los valores de A_{CO_2} más bajos pero el único tratamiento con el menor valor significativo respecto a los tratamientos recolectados a mano fue NTRV.

En la parcela Marisol en 2010, se observó un efecto perjudicial a corto plazo en la A_{CO_2} debido a la aplicación de etefón y a la vibración de troncos un día después de la recolección, el 19/10/2010. El tratamiento NTRM mostró un valor significativamente más alto que el resto de los tratamientos. Sin embargo, tres semanas después estas diferencias desaparecieron (Tabla A3, Anejo de tablas B).

En la parcela de Navel Lane Late, la aplicación de etefón parece tener un efecto perjudicial. En 2010, uno y dos días después de la aplicación del abscisor (16/3/2010 y

17/3/2010), los valores de A_{CO_2} en NTRM fueron significativamente más altos que en el resto de los tratamientos, incluso NTRV, donde los árboles recibieron el mismo tratamiento que NTRM hasta la recolección, por lo que el efecto de la aplicación etefón no se observó. Sin embargo, en 2011, los valores de A_{CO_2} un día después de la aplicación etefón (23/3/2011) en árboles no tratados (NTRM y NTRV) fueron significativamente mayores que en árboles tratados con etefón (ET4RM y ET4RV) (Tabla A3, Anejo de tablas B). El 25/3/2010 (2 días después de la recolección mecánica en 2010), el tratamiento NTRM tuvo el valor más alto de A_{CO_2} que el resto de los tratamientos y fue significativamente diferente a ET4RM y ET4RV (Tabla A3, Anejo de tablas B), lo que indica que hubo algún efecto tanto del etefón como de la vibración. Sin embargo, en 2011, un día después de la recolección (31/3/2011) no se encontraron diferencias entre los tratamientos (**Figura 22**).

Resultados

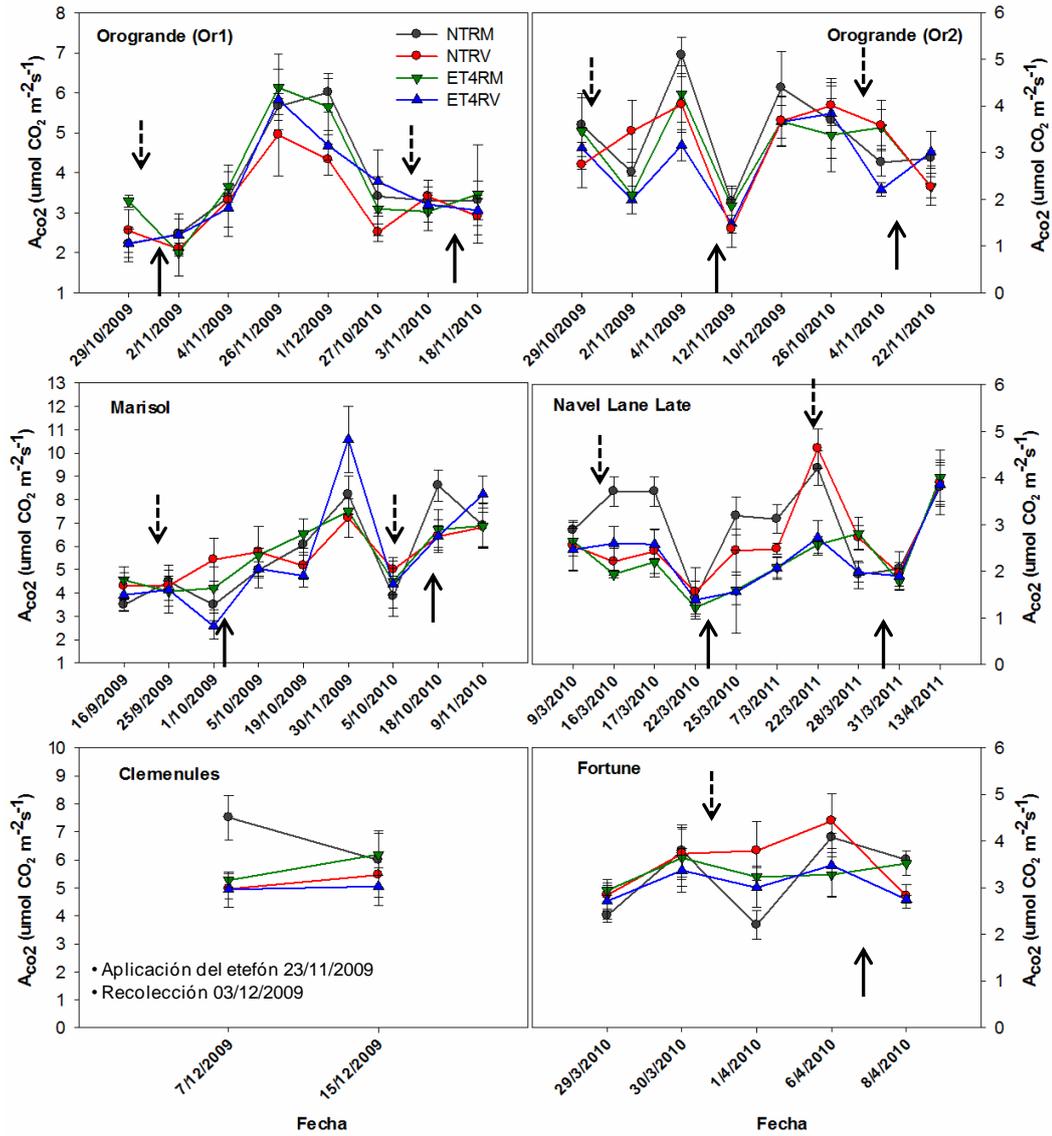


Figura 22.- Evolución de la fotosíntesis neta (A_{CO_2} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las fechas hacia arriba indican la fecha de recolección.

7.3.4.- Transpiración (E_i)

En cuanto a la E_i , en las parcelas de Clemenules y Fortune, ni el tratamiento de etefón ni el método de recolección tuvieron efecto alguno (**Figura 23**, Tabla A4, Anejo de tablas B).

En la parcela Orogrande 1 y en el inicio del experimento en 2009 (29/10/2009), los valores de E_i fueron diferentes entre los árboles dentro de cada tratamiento (**Figura 23**, Tabla A4, Anejo de tablas B). Cuatro días más tarde, y tres días después de la aplicación de etefón, el tratamiento NTRM mostró un valor de E_i significativamente mayor que el resto de los tratamientos, incluso que NTRV, donde los árboles recibieron el mismo tratamiento que NTRM hasta la recolección, por lo que no se pudo demostrar que existiera un efecto de la aplicación etefón.

En la parcela Orogrande 2, el tratamiento de etefón y la recolección mecánica provocaron una disminución significativa en los valores de E_i en 2009 (Tabla A4, Anejo de tablas B) porque tres días después de la aplicación de etefón (2/11/2009), los árboles tratados con etefón (ET4RM y ET4RV) mostraron valores significativamente menores de E_i que los árboles no tratados, y un día después de la recolección, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos recolectados a mano, que tenían los valores más altos de E_i , comparados con los tratamientos de recolección mecánica. Sin embargo, en 2010, después del inicio del experimento (26/10/2010), se encontraron diferencias de E_i entre los árboles de tratamiento NTRV y los otros tratamientos. Sólo dos días después de la aplicación de etefón (4/11/2010), surgieron diferencias entre ET4RV y los otros tratamientos, mostrando el valor significativamente más bajo (Tabla A4, Anejo de tablas B).

En la parcela Marisol se observó un efecto significativo de los tratamientos diecisiete días después de la recolección (19/10/2009), cuando los tratamientos recolectados mecánicamente (NTRV y ET4RV) tuvieron menor E_i que los tratamientos recolectados a mano (Tabla A4, Anejo de tablas B, **Figura 23C**).

Resultados

En la parcela Navel Lane Late en 2010 sólo después de la recolección (25/3/2010), los árboles tratados con etefón tuvieron una reducción significativa en E_i , en comparación con los árboles no tratados (NTRM y NTRV) (**Figura 23**, Tabla A4, Anejo de tablas B). En 2011 no se encontró esta tendencia. En este caso, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, pero no siguieron ninguna tendencia (ET4RM tenía un valor de E_i significativamente más alto que NTRM y ET4RV).

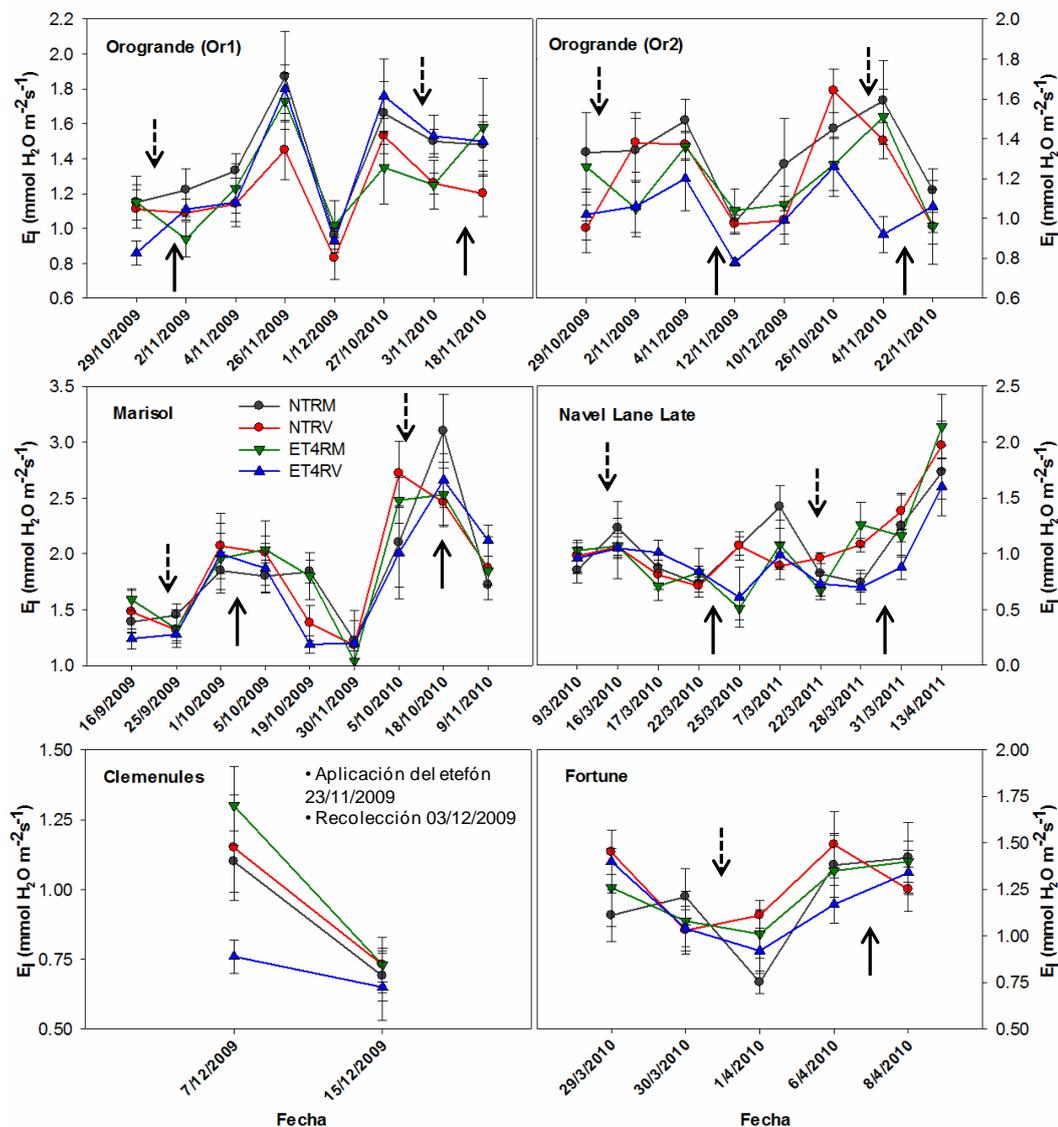


Figura 23.- Evolución de la transpiración de la hoja (E_i , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en los árboles no tratados con etefón y recolectados a mano (NTRM), árboles no tratados con etefón y recolectados con vibrador de troncos (NTRV), árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados a mano (ET4RM) y árboles tratados con la mayor dosis de etefón y recolectados con vibrador de troncos (ET4RV) dentro de las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol, Navel Lane Late, Clemenules y Fortune. Las barras verticales muestran el error estándar. Las flechas hacia abajo representan la fecha de aplicación de etefón. Las fechas hacia arriba indican la fecha de recolección.

7.3.5.-Porcentaje de interceptación de radiación fotosintéticamente activa de la copa (F_{PAR})

De manera general, la capacidad de interceptar la F_{PAR} de los árboles no vio alterada debido a la aplicación de etefón y a la vibración, ya que los valores medios de radiación de todos los árboles fueron similares a lo largo de toda la evolución temporal (**Tabla 12**). Sólomente se observó una disminución a corto y largo plazo en la parcela 1 de Orogrande debido al etefón, pero restableciendo su capacidad de interceptar luz de manera fisiológicamente normal, así como en la naranja tardía Navel Lane Late, causada por el etefón y la vibración.

En la parcela Orogrande 1, todos los árboles partieron de la misma situación inicial, interceptando aproximadamente entre un 30-35% de radiación. Tras la aplicación de etefón y recolección de la primera campaña (18/11/2008), los valores medios obtenidos en los árboles que se trataron con etefón y vibrado (ET4RV), disminuyeron un 5% su capacidad de interceptar la radiación. Al mes de la recolección (18/12/2008), los árboles control (NTRM) mantuvieron sus valores medios de interceptación de radiación ya que no se defoliaron. En cambio, en los árboles no tratados con etefón pero que sí se vibraron (NTRV) disminuyeron significativamente un 5% su capacidad de interceptar la radiación. De igual manera, los árboles que se trataron pero se recolectaron a mano (ET4RM), disminuyeron otro 5% la capacidad de interceptar la radiación. Por otra parte, los árboles que a su vez fueron tratados y vibrados (ET4RV), fueron los que menos radiación interceptaron (alrededor de un 25%). Por otro lado, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos debidas al etefón entre los árboles control (NTRM) y los árboles tratados con etefón (ET4RM y ET4RV) ($F=6.86$; g.l.=3,17, $p=0.0045$). A los 7 meses de la recolección (18/6/2009), se volvieron a observar una disminución significativa del 5% ($F=4.05$; g.l.=3, 17; $p=0.0289$) debida al etefón. A pesar de ello, los valores medios se fueron igualando, para aumentar hasta un 55-65% de radiación interceptada al año siguiente (27/10/2010) (**Tabla 12**). En la

campana siguiente, después de la aplicación de etefón y recolección (23/11/2010), se observó que los árboles mantuvieron sus valores medios, sin observarse variación entre los árboles NTRM y el resto de árboles, indicando que el etefón y la vibración no han afectado a largo plazo a su capacidad de interceptar la F_{PAR} .

En la parcela 2 de Orogrande, en el último año de experiencias, se observó que antes (28/10/2010) y después de la aplicación de etefón y recolección (22/11/2010), los valores medios de radiación interceptada de los árboles NTRM y el resto de árboles fueron similares (55-65%), indicando que los árboles no vieron alterada su capacidad de interceptar la radiación, a pesar de las experiencias realizadas en el 2009 y en el 2010 (**Tabla 12**).

En la variedad Marisol, la situación de partida de todos los árboles fue de interceptar alrededor del 30% de radiación. Después de la aplicación de etefón y de la recolección del primer año de ensayos (5/10/2009), los valores medios de todos los árboles oscilaron entre un 15-30% de radiación interceptada, siendo menor este porcentaje en los árboles sin etefón recolectados a mano o con la máquina (NTRM y NTRV). A las dos semanas de medida (19/10/2009), los árboles NTRM aumentaron un 5% este valor, disminuyendo el porcentaje del resto de árboles, pero sin existir diferencias entre todos los valores medios de los árboles, indicando que todos interceptaron la radiación sin problemas, a pesar de la defoliación producida. Al año siguiente y antes de la aplicación de etefón (5/10/2010), todos los árboles aumentaron el doble que el año anterior su capacidad de interceptar la radiación (50-60%), siendo algo mayor en los árboles que no recibieron el tratamiento con etefón el año anterior, pero sin que existieran diferencias en los valores medios con el resto de árboles tratados con el abscisor. Tras la recolección (9/11/2010), los valores medios son similares entre todos los árboles (50-60%), siendo algo mayor en los árboles sin etefón (NTRM y NTRV) pero sin existir diferencias entre ellos. Tal y como ocurría en las parcelas 1 y 2 de Orogrande, se observó que los árboles se recuperan de la defoliación producida y que las hojas vuelven a brotar sin problemas.

Resultados

La variedad Clemenules, por su parte, mostró una situación inicial de interceptación de la radiación similar en todos los árboles antes de la aplicación de tratamientos (17/11/2009), y que osciló entre un 15-25%. Tras la aplicación de etefón y a los 12 días de la recolección (15/12/2009), los valores medios de todos los árboles disminuyeron a un 12% aproximadamente (**Tabla 12**). Este hecho mostró que en esta variedad, ni la aplicación de etefón ni la vibración de troncos afectaron a su capacidad de interceptar la radiación, ya que tanto los árboles control como el resto de árboles disminuyeron por igual su valor medio.

En la variedad Navel Lane Late los datos de radiación del último año de ensayos (7/3/2011), mostraron que los controles (NTRM) interceptaron alrededor de un 7% más de radiación (37%, partían de valores medios más altos) que el resto de árboles (NTRV, ET4RM y ET4RV) tras dos años de ensayos. Tras la aplicación de etefón y recolección (8/4/2011), sí se observaron diferencias significativas entre los valores medios de los árboles NTRM y el resto de árboles ($F=5.03$; g.l.=3, 18; $p=0.0131$) interceptando más radiación (entre un 7-10%) los controles (**Tabla 12**). Este hecho nos indicó que la variedad Navel Lane Late es más sensible a la defoliación producida por el etefón y la vibración que el resto de variedades hasta ahora evaluadas.

Por último, en el híbrido Fortune se observó que tras la aplicación de etefón y al día siguiente de la recolección (8/4/2010), los valores medios de porcentaje de F_{PAR} de todos los árboles fueron similares entre ellos y se encontraban entre 45-50%, siendo algo mayor en los árboles que no habían recibido etefón (NTRM y NTRV). Al año siguiente (11/5/2011), los valores medios de todos los árboles oscilaron entre 35-50% de radiación interceptada, siendo algo menor este porcentaje en los árboles que se trataron con el abscisor (ET4RM y ET4RV) el año anterior.

Tabla 12.- Evolución temporal del porcentaje de la fracción de radiación interceptada (%) (F_{PAR}) (Media±Error estándar) en cada parcela de cítrico ensayada, en función del tratamiento.

Parcela/Varietal	Fecha	F_{PAR} (%)			
		NTRM	NTRV	ET4RM	ET4RV
Orogrande 1	3/11/2008	30.62±1.51	33.01±1.25	31.09±1.67	32.67±1.36
	18/11/2008	30.48±1.65	30.38±1.32	30.11±1.44	27.33±1.48
	18/12/2008	33.47±1.65	30.90±1.97	26.93±1.63	24.28±0.43
	18/6/2009	32.77±1.17	31.68±2.20	27.95±1.70	26.50±0.85
	27/10/2010	64.47±4.74	57.91±2.93	61.90±6.56	60.90±2.40
	23/11/2010	64.47±5.18	56.93±2.80	60.92±6.29	59.18±2.81
Orogrande 2	26/10/2010	68.08±4.25	71.93±6.53	64.75±3.64	58.37±4.99
	22/11/2010	67.56±3.86	71.65±6.40	64.95±3.70	58.27±4.85
Marisol	16/9/2009	26.79±4.12	25.46±3.00	26.22±15.04	25.39±6.65
	5/10/2009	14.63±2.22	14.82±1.94	19.57±1.33	23.18±5.08
	19/10/2009	17.29±4.95	9.69±2.33	12.16±2.96	13.11±2.48
	5/10/2010	52.40±5.54	56.80±4.00	47.50±2.33	46.89±3.46
	9/11/2010	53.64±5.51	53.64±3.99	48.59±3.84	49.23±4.35
Clemenules	17/11/2009	19.60±4.45	18.40±6.61	21.20±4.68	24.60±3.66
	15/12/2009	14.00±8.87	13.00±1.14	13.20±1.02	14.00±0.89
Navel Lane Late	7/3/2011	36.47±2.35	29.54±0.94	29.32±3.07	29.87±2.21
	8/4/2011	37.49±2.35	30.78±0.92	29.90±3.17	30.06±2.28
Fortune	29/3/2010	42.50±5.50	47.80±5.72	44.75±4.77	48.20±1.96
	8/4/2010	50.20±3.25	48.40±6.20	46.40±4.27	46.20±1.46
	11/5/2011	49.00±2.28	43.80±3.89	35.00±3.21	40.40±3.97

En resumen, sólo se observó una disminución significativa de los valores medios de radiación debido al etefón y a la vibración en las variedades Navel Lane Late y Orogrande 1, debido a la defoliación producida, pero restableciéndose después los valores.

7.6.- EFECTO DEL ETEFÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA MISMA CAMPAÑA DE LA APLICACIÓN Y EFECTO DEL ETEFÓN Y EL VIBRADOR DE TRONCOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA CAMPAÑA SIGUIENTE

Los valores de producción (total kg fruta/árbol) (Media \pm ES) para las diferentes parcelas y campañas ensayadas se muestran en la **Tabla 13**.

La aplicación de etefón no afectó a la producción durante la misma campaña en que se aplicó, ya que no se observaron diferencias significativas en la producción entre NTRV y árboles tratados con etefón con diferentes dosis (ET1RV, ET2RV, ET3RV y ET4RV) en cualquiera de las variedades estudiadas durante la primera campaña experimental (Tabla R13, Anejo de tablas A, Resultados Regresión).

En cuanto al efecto del etefón y el vibrador de troncos sobre la producción de la siguiente campaña, se observó en la parcela Orogrande 1 que la dosis de etefón aplicada en la campaña 08-09 disminuyó significativamente la producción de la campaña 09-10, independientemente de la técnica de recolección utilizada. Sin embargo, no se observó un efecto de la dosis aplicada de etefón en la campaña 09-10 sobre la producción de la tercera y última campaña experimental (10-11) (**Tabla 13** y Tabla R14, Anejo de tablas A).

En la parcela Orogrande 2 también se observaron diferencias de respuesta entre campañas. Como sucedió en la parcela Orogrande 1, no se observó ningún efecto de la dosis aplicada de etefón en 09-10 sobre la producción de la campaña 10-11. Sin embargo, la dosis de etefón aplicada en la campaña 10-11 disminuyó significativamente la producción de la campaña 11-12, pero sólo en los tratamientos recolectados mecánicamente.

En la parcela Marisol no se observaron diferencias en la producción entre los árboles tratados con etefón y los árboles no tratados, independientemente de la técnica de la recolección durante la segunda campaña experimental (10-11).

En el caso de la parcela de Navel Lane Late, se obtuvo una relación cuadrática entre la dosis de etefón y la producción durante la segunda campaña experimental (10-11). La dosis de etefón tuvo un efecto significativo sobre la disminución de la producción de la campaña siguiente y esta reducción fue dependiente de la técnica de recolección empleada (**Tabla 13** y Tabla R14, Anejo de tablas A).

Las posibles pérdidas de producción y económicas que supondrían la aplicación de las dosis de etefón y la recolección mecanizada con vibrador de troncos en las dos parcelas de la mandarina Orogrande y en la parcela de naranja Navel Lane Late se muestran en la Tabla R15 (Anejo de tablas A). Considerando que el número de árboles por hectárea era de 400 y que el precio para consumo en fresco de Orogrande fue de 0,275 €/kg y para Navel Lane Late de 0,247 €/kg, las posibles pérdidas que se obtendrían son importantes. En Orogrande 1, el etefón disminuyó la producción en todos los árboles, independientemente de la técnica de recolección. Se estima que la aplicación de la menor dosis (2400 mg/árbol) supondría una merma de producción de unos 2500 kg/ha, traduciéndose en una pérdida económica de 686 €/ha, mientras que con la mayor dosis (8400 mg/árbol), las pérdidas estimadas estarían en torno a 8700 kg/ha, es decir, alrededor de 2400€/ha. En Orogrande 2, el etefón disminuyó la producción en los árboles que se recolectaron con vibrador, causando pérdidas de producción y económica de 2100 kg/ha y 580 €/ha, respectivamente, con la aplicación de la menor dosis, y de 7400 kg/ha y 2000€/ha con la mayor dosis aplicada. Por su parte, en Navel Lane Late, tanto el etefón como el vibrador afectaron a la producción. La recolección mecanizada supondría una reducción de la producción de 11000 kg/ha y una pérdida económica de 2700€/ha. Las pérdidas debidas a la interacción de los dos factores supondrían, con la aplicación de la menor dosis (2100 mg/árbol) supondrían alrededor de 12000 kg/ha y 3000€/ha, mientras que con la aplicación de 7200 mg/árbol, las pérdidas aumentarían a unos 22000 kg/ha y 5400€/ha.

Resultados

Tabla 13.- Producción (kg/árbol) (Media±ES) obtenida para los diferentes tratamientos en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol y Navel Lane Late en la campaña siguiente a las aplicaciones. RM: Recolección manual; RV: Recolección con vibrador. (Media±ES) con co como una función de *Dosis de etefón* (mg/L) y *Técnica de recolección* en las parcelas Orogrande (1 y 2), Marisol y Navel Lane Late' en la campaña siguiente de ensayo

Parcela	Campaña	Técnica de recolección*	Producción (kg/árbol)				
			NT	ET1	ET2	ET3	ET4
Orogrande 1	09-10	RM	57.77±7.41	58.86±7.92	45.85±8.50	42.33±6.39	30.52±6.39
		RV	42.78±2.52	46.72±10.73	35.92±7.79	31.51±7.97	30.96±6.66
	10-11	RM	73.11±8.90	86.98±10.32	74.85±13.91	62.93±8.14	64.91±7.09
		RV	64.99±3.78	74.39±11.37	64.13±7.35	69.65±7.63	70.16±8.39
Orogrande 2	10-11	RM	73.46±9.07	51.83±7.67	69.19±14.85	72.80±9.33	66.86±12.71
		RV	77.98±10.98	59.72±8.59	79.50±9.92	63.04±6.30	59.01±9.43
	11-12	RM	69.01±4.96	51.36±4.55	57.19±10.91	68.47±12.00	58.34±8.25
		RV	68.13±3.79	55.13±4.92	61.91±3.99	55.96±10.49	38.77±5.13
Marisol	10-11	RM	70.85±13.11	91.68±19.27	74.70±15.75	84.97±10.85	81.27±7.22
		RV	93.26±19.80	87.54±18.38	60.65±14.22	82.18±19.10	62.98±9.57
Navel Lane Late	10-11	RM	110.79±5.07	50.80±6.53	43.08±11.85	34.27±6.45	15.59±4.67
		RV	73.03±7.54	41.68±6.65	46.74±1.12	24.28±8.74	18.57±4.87

8.- DISCUSIÓN

Los resultados de eficiencia obtenidos en este estudio con el vibrador de troncos en cítricos (sin etefón) oscilaron entre el 70 y el 85% de la fruta derribada, y de acuerdo con el análisis estadístico, el porcentaje de derribo no dependió de la parcela. La variación del porcentaje de derribo de fruta de una campaña a otra en las parcelas ensayadas puede ser debida al estado de madurez en que se encuentra la fruta en el momento de recolección. Así, en la parcela Orogrande 1, tanto la FRF, el ICC y el IM no variaron prácticamente en las dos primeras campañas (en torno a los 70 N de FRF, ICC = -9.00 y 12 de IM) obteniendo un porcentaje de derribo del 78% en la 08-09 y del 75% en la 09-10, mientras que en la campaña 10-11 la fruta estaba algo más verde (ICC = - 13.00, FRF = 76 N e IM = 12.98), obteniéndose un derribo del 72%.

Estos porcentajes se podrían mejorar si los árboles estuvieran adaptados para recolectarlos mecánicamente con un vibrador de troncos gracias a una poda adecuada, ya que están preparados para una recolección manual. Durante los experimentos se observó que la presencia de ramas flexibles, largas, delgadas y prácticamente horizontales, redujeron los porcentajes de fruta derribada, ya que la vibración se amortigua. En unos pocos casos, el vibrador no encajó de manera correcta, causando ligeros daños en la corteza, coincidiendo con experiencias similares en Florida (Li y Syversten, 2004; 2005). También se rompieron varias ramas de la parte más baja de la copa, como resultado de las maniobras requeridas para alcanzar al tronco. Este problema no hubiera ocurrido si los árboles hubieran sido adecuadamente podados.

La aplicación de etefón entre 6-13 días antes de la recolección ha aumentado la cantidad de fruta derribada por el vibrador de troncos, excepto en la parcela de mandarina

Clemenules. La mayor dosis de etefón aplicada aumentó la eficiencia del vibrador un 21% en mandarinas Marisol, un 17% en naranjas Navel Lane Late, entre un 9-12% en las parcelas de Orogrande y solamente un 4% en el híbrido Fortune. Resultados similares se obtuvieron en Florida sobre naranjas tempranas y tardías (principalmente Hamlin y Valencia) en los que se aumentó el porcentaje de fruta derribada en un 5 -15% (Koo *et al.*, 1999; Whitney *et al.*, 2000a; Whitney *et al.*, 2000b; BenSalem *et al.*, 2001; Farooq *et al.*, 2002; Whitney, 2003). Es importante señalar que esto no ocurre en limones cultivados en el Mediterráneo, bajo condiciones similares a las de nuestros experimentos, probablemente debido a la menor sensibilidad de los limones al etefón (Torregrosa *et al.*, 2010).

La dosis de etefón no tuvo o tuvo un pequeño efecto en la eficiencia del vibrador en las parcelas de Clemenules y Fortune. Una posible razón sería un balance específico de fitohormonas en las zonas de abscisión del fruto, tal y como Yuan *et al.* (2001a) señalaron en un estudio sobre factores que afectaban a la respuesta fisiológica de naranjas Valencia a los agentes de abscisión. Otra razón podría ser las diferentes condiciones meteorológicas previas, durante y después de la aplicación de etefón, tal y como sugieren Yuan y Burns (2004). Pese al aumento del porcentaje de fruta derribada, las dosis aplicadas también aumentaron el porcentaje de fruta sin cáliz. Esto dificulta la comercialización del producto para su consumo en fresco, aunque no para la industria de zumo o de transformación. Además, cabe mencionar, que los valores de porcentaje de fruta derribada sin cáliz solo por efecto del vibrador entre parcelas estaba entre 1 - 9%. Sin embargo, en la campaña 10-11, el porcentaje de fruta sin cáliz era menor que en la campaña 09-10 en las parcelas ensayadas, en la que la fruta estaba más madura. Esto podría indicar que si la fruta se recogiese más verde se conseguiría una mayor proporción de fruta con cáliz. Del mismo modo, en las tres campañas evaluadas de la parcela 1 de Orogrande, el porcentaje de fruta sin cáliz con y sin la aplicación de etefón fue mayor en la campaña 08-09 que en las dos siguientes. Este hecho pudiera ser debido a que al estar la fruta menos verde, se desprende

Discusión

más cantidad de fruta sin cáliz, y al tener el plus del efecto del etefón, se ve más acusado el desprendimiento en esa zona de abscisión (cáliz-fruto).

Se ha observado que la cantidad de hojas que se desprendieron por la vibración fue mayor el primer año de ensayos pero esto puede atribuirse a que se eliminan las hojas senescentes del árbol y por consiguiente, al año siguiente las hojas son más jóvenes y, por tanto, están más sujetas a las ramas, disminuyendo la defoliación en el segundo año de experiencias.

El uso del abscisor promovió la defoliación, tal y como ocurre con otros abscisores (Rasmussen, 1977; Hartmond *et al.*, 2000a; Hartmond *et al.*, 2000b; Burns, 2002; Burns *et al.*, 2003a; Burns *et al.*, 2003b; Pozo y Burns, 2006; Li *et al.*, 2008). De hecho, la defoliación aumentaba conforme lo hacía la dosis. Sin embargo, a pesar de la defoliación producida, ni las aplicaciones de etefón ni la recolección mecanizada afectaron al porcentaje de interceptación de F_{PAR} de manera general en las variedades de mandarina, sólo y de manera temporal en la parcela 1 de Orogrande, pero restableciendo su capacidad de interceptar la radiación. Esto es debido a que los árboles se han recuperado de la defoliación producida y a que han brotado hojas nuevas que aumentan su capacidad de interceptar la radiación. En la naranja tardía Navel Lane Late, a pesar de que el etefón y la vibración redujeran mínimamente la F_{PAR} , los naranjos se recuperaron posteriormente y brotaron. Este hecho refuerza la hipótesis anterior de que los árboles se recuperan de la defoliación y que rebrotan de manera fisiológicamente natural. De acuerdo con Li *et al.* (2006), a pesar de la pérdida de hojas, los árboles no pierden la capacidad de interceptar la luz ya que no se ve afectada severamente y los árboles pueden compensar parcialmente esta pérdida incrementando la capacidad fotosintética de las hojas que permanecen en el árbol (Syversten, 1994). Cabe mencionar que la aplicación de etefón no provocó gomosis ni la muerte de ninguna rama, como sí ocurre con la aplicación de prosulfurón y metsulfurón-metilo (Whitney, 2003).

El efecto de las distintas dosis de etefón sobre los frutos de los cítricos depende de la variedad (parcela) y/o del propio estado de la fruta en el momento de la aplicación. En este trabajo, las dosis de etefón han provocado la disminución del valor inicial de la FRF en naranjas y mandarinas entre 5-8 días en función de la parcela, coincidiendo con estudios realizados en Florida (Burns, 2002; Burns *et al.*, 2003b; Alférez *et al.*, 2006; Pozo y Burns, 2006), y con resultados similares a los que se han obtenido con otros abscisores, tales como el CMNP (5-cloro-3-metil-4-nitro-1H-pirazol), la coronatina o el metsulfurón-metilo (Hartmond *et al.*, 2000; Burns *et al.*, 2003a).

Se ha observado que en Florida que el efecto del etefón en naranjas depende (entre otros factores) de la temperatura ambiental y aumenta cuando ésta es elevada (Bukovac, 1979; Yuan y Burns, 2004). Sin embargo, los resultados obtenidos en nuestras condiciones agroclimáticas parecen señalar que el efecto del etefón depende más del propio estado de madurez en el que se encuentre la variedad analizada que de la temperatura ambiental dada en la época de recolección. La temperatura de la época de aplicación y recolección era mayor en las parcelas de mandarino (entre 13.7 y 21.3°C) que la de la naranja Navel Lane Late (12.3-14.5°C), que fue la variedad de cítrico con mayor respuesta a la dosis en esta variable.

En nuestros experimentos, se ha observado que las dosis de etefón aplicadas (que oscilan entre 2400-12900 mg/árbol) no han afectado a la calidad interna del zumo en ninguna de las especies y variedades, coincidiendo con los resultados de Pons *et al.* (1992). Este hecho puede favorecer la comercialización del abscisor para la fruta destinada a la industria, ya sea de zumo o de transformación. Sin embargo, ha aumentado significativamente el color de la corteza de los frutos de las variedades en las que el ICC en el momento de la aplicación era negativo (parcelas 1 y 2 de Orogrande y en Marisol) entre 5-8 días después de la aplicación. Este aumento de color en campo sería suficiente para evitar el paso por la cámara de desverdizado, adelantando así la salida al mercado, lo que puede incidir en el margen de beneficios que puede obtener el agricultor. Los resultados son

Discusión

similares a los de Pons *et al.* (1992), quienes aplicaron menores concentraciones de etefón (200 mg/l por árbol, sin especificar el volumen de caldo) pero solamente sobre las variedades tempranas Marisol y Oroval. Estas variedades presentaron unos valores de IM en los árboles testigo entre 5.67-5.96 y 6.56-7.41, respectivamente, antes y después de los tratamientos (17 días después). Observaron aumentos del ICC tras 17 días que permitía adelantar el desverdizado. También son similares a los obtenidos en Florida por Alférez *et al.* (2006), quienes trataron sectores de copa de 3m³ de naranjos tempranos Hamlin con 400 mg/l de etefón hasta punto de goteo, y observaron un cambio de color 5 días después de los tratamientos.

También observamos que las dosis de etefón aplicadas en Navel Lane Late en la campaña 09-10 no tuvieron efecto en el color de la corteza cuando debido a que el ICC era mayor de 0. Sin embargo, provocó que la fruta presentara un menor ICC en la siguiente campaña y que además disminuyera cuanto mayor era la dosis que se aplicó en la campaña anterior. Esta variedad de naranja, es tardía y en el momento de la recolección presentaba flores y frutitos verdes que se desprendieron tras la aplicación de etefón y la vibración en la campaña 09-10, aumentando dicho desprendimiento conforme aumentó la dosis. De esa manera en la campaña siguiente (10-11) los árboles tratados con etefón no presentaban frutos de esa primera floración sino que correspondía a floraciones posteriores, y por lo tanto, estaban más verdes. Este hecho pudiera deberse a: i) la abscisión de flores y hojas en la campaña 09-10 por efecto del etefón, retrasando la maduración externa de los frutos formados en la campaña 10-11. Los árboles tratados tenían un elevado número de brotes sin hojas y menos flores, pudiendo presentar una mayor limitación a la hora del cuajado del fruto (Agustí, 2000), así como debido al ii) crecimiento vegetativo (Wheaton *et al.*, 1977, Yuan *et al.*, 2001b). Las posibles explicaciones a este hecho son, en primer lugar, que las hojas que permanecen en el árbol tras la defoliación actúan como fuente de metabolitos para los frutos que se están desarrollando y para las nuevas hojas que están brotando. Y en

segundo lugar, a la competencia por los fotoasimilados surgida entre los frutos y las flores en desarrollo que se encuentran en esta variedad de naranja en el momento de recolección. Ambas causas llevarían a un retraso en la coloración en la campaña 10-11.

La aplicación de etefón en nuestras condiciones climáticas ha producido un ablandamiento de la corteza (deformándola) en las mandarinas (Orogrande y Clemenules), siendo similares nuestros resultados a los obtenidos por Gilfillan y Lowe (1985) en mandarinas satsumas, pero difiriendo en que no hemos observado una deformación en la mandarina temprana Marisol ni en el híbrido Fortune, así como tampoco en la naranja Navel Lane Late. Probablemente este ablandamiento está relacionado con la entrada de los frutos en senescencia (Agustí, 2000) debido al etileno liberado tras la aplicación de etefón. Algo similar ocurre con el CMNP, que provoca senescencia en los tejidos de los frutos con los que entra en contacto (Alfárez *et al.*, 2006).

Por otra parte, la aplicación de etefón ha provocado la aparición de manchas en la corteza de las mandarinas Marisol, Clemenules y Orogrande entre 8-10 días después de los tratamientos, pero no en la naranja Navel Lane Late ni en el híbrido Fortune. Este fenómeno también ocurre con otros abscisores, como prosulfurón y metsulfurón metil a bajas concentraciones (Whitney, 2003). Alfárez *et al.* (2006) observaron este fenómeno con CMNP pero no con etefón en naranjas tempranas Hamlin. La aparición de manchas por etefón podría estar relacionada con los días transcurridos entre la aplicación y la recolección y con la sensibilidad al etileno de cada variedad, De ahí que entre las dos parcelas de Orogrande la aparición de manchas difirió entre las campañas ensayadas. En la campaña 10-11 el porcentaje de fruta manchada se evaluó 10 días después de la aplicación de etefón y fue menor que en la campaña 09-10, en la que las manchas se evaluaron a los 12 días de la aplicación. En cambio, en la campaña 08-09 no aparecieron manchas en la fruta, siendo éstas evaluadas a los 6 días de los tratamientos. La diferencia de días en la evaluación de los daños puede ser la razón de la diferencia en el porcentaje de frutos manchados. En el caso de la parcela de Orogrande 1 en la que se dieron diferencias de aparición de manchas

Discusión

entre campañas resultó evidente que ésta era la principal razón. Se ha observado que la variedad Clemenules, en cuyos ensayos la T^a media era de 13.7°C y presentando un ICC>9, manifestó manchas en la corteza de los frutos, mientras éstas no se observaron en la naranja Navel, con una temperatura similar y también con coloración naranja en las dos campañas de ensayo, por lo que a priori descartamos que la aparición de manchas se deba a la temperatura ambiental tras la aplicación de etefón.

Ni la vibración de troncos ni la aplicación de etefón ni el efecto conjunto de ambos factores afectaron negativamente al estado hídrico de los árboles en ninguna de las variedades estudiadas a corto y largo plazo, incluso al repetir el ensayo al año siguiente.

La variación encontrada en los valores de Ψ_{tallo} entre las mandarinas clementinas (valores más bajos) y el híbrido y la naranja tardía pudiera deberse a que las medidas se llevaron a cabo distintas estaciones, debido al período de recolección de las variedades y a que el potencial hídrico varía a lo largo del año. Los valores de Ψ_{tallo} generalmente más bajos se registraron en las parcelas de Orogrande 1, Orogrande 2, Marisol y Clemenules en comparación con Fortune y Navel Lane Late pudiendo estar relacionado con el hecho de que la mayoría de las medidas de Ψ_{tallo} tomadas en esas parcelas se realizaron durante el invierno, cuando la recolección se lleva a cabo en estas variedades y donde se observa a menudo una disminución en el estado hídrico de los cítricos como consecuencia de la disminución de la temperatura del suelo, traduciéndose en una menor actividad radicular (Intrigliolo *et al.*, 2008; Barkataki *et al.*, 2013). Sin embargo, los valores más bajos de Ψ_{tallo} se registraron durante el verano en las parcelas de Orogrande 1 y Orogrande 2 (alrededor de -1,4 MPa), estando por debajo del valor de Ψ_{tallo} recomendado para los cítricos correctamente regados, (Ballester *et al.*, 2014), indicando algún estrés hídrico moderado.

La aplicación de 600 y 1200 mg/L de etefón no tuvo efectos perjudiciales sobre el estado hídrico de los árboles en cualquiera de las variedades estudiadas. Se ha observado que tanto 1, 5 y 7 días después de la aplicación de la mayor dosis de etefón los árboles

mostraban un valor de Ψ_{tallo} más elevado que los que no se habían tratado. Li *et al.* (2006) obtuvieron resultados similares, ya que la aplicación de 400 mg/L de etefón no tuvo efecto sobre el Ψ_{tallo} en los árboles de la variedad de naranja Hamlin y con la aplicación de 800 mg/L de etefón los valores de Ψ_{tallo} en las hojas mejoraron.

Una inadecuada recolección mecanizada debida a fallos en las condiciones operativas de la máquina, tales como un excesivo tiempo de vibración, puede provocar graves daños en la copa o en la raíz en función del tipo de vibrador utilizado, afectando a su vez a algunas de las funciones fisiológicas de los árboles. Los estudios llevados a cabo en Florida en naranjos Hamlin y Valencia por Li y Syversten (2005) detectaron una disminución en el Ψ_{tallo} en los árboles vibrados durante un tiempo excesivo de 20 s. En nuestro estudio, la vibración del tronco durante 5 s no afectó negativamente al Ψ_{tallo} en cualquiera de las variedades estudiadas, ni siquiera en la primera campaña de Orogrande 1, en la que los árboles se vibraron en dos tandas de 5 s. Tampoco se vieron afectados los pocos árboles en los que hubo daños en la corteza o ramas, causados por las maniobras realizadas por el vibrador para abrazar al tronco. Esto nos indica que no hubo daños en la raíz y tampoco en la copa de los árboles, ya que la capacidad de interceptación de la luz no se vio afectada y que las condiciones operativas fueron adecuadas.

Por otro lado, parece ser que la recolección mecanizada con vibrador de troncos y la aplicación de etefón pudiera tener un efecto positivo en el estado hídrico de los cítricos evaluados. En las variedades Marisol, Navel Lane Late y Fortune los árboles tratados (ET4RM y ET4RV) mostraron un aumento temporal del valor de potencial hídrico tras la aplicación del etefón. Por otro lado, las parcelas 1 y 2 de Orogrande, Marisol, Navel Lane Late, en los árboles tratados y vibrados (ET4RV) se volvió a registrar un aumento temporal a corto y largo plazo. Este hecho coincide con el estudio llevado a cabo en Florida por Li *et al.* (2006) en naranjas tempranas Hamlin, en el cual la aplicación de etefón no disminuyó el valor de Ψ_{tallo} , sino que lo mejoró. Una posible explicación a esta mejora del estado hídrico pudiera ser debida a la defoliación producida por el abscisor e incrementada por la vibración,

Discusión

mejorando el Ψ_{tallo} , traduciéndose en una menor pérdida de agua por transpiración. De hecho, en los árboles que a la vez han sido tratados con etefón y posteriormente vibrados el efecto ha sido positivo, ya que han aumentado más su valor medio de potencial que el resto de árboles, debido a la defoliación producida por el etefón, incrementada posteriormente con la vibración. Al tener el árbol menor número de hojas, transpira menos y por tanto, mejora su estado hídrico al perder menos agua por los estomas.

La fluctuación observada en los valores de potencial hídrico en las fechas para cada variedad, es debida a que el potencial hídrico varía a lo largo de año en función de la demanda evaporativa existente, y por tanto, el estado hídrico de los árboles también varía. Aún así, los valores obtenidos en cada variedad y fecha entran dentro del rango óptimo de potencial hídrico para cítricos.

En estudios realizados en Florida en naranjos dulces Hamlin y Valencia llegaron a la conclusión de que había un efecto a corto plazo en la g_s , A_{CO_2} y E_i tras aplicaciones de etefón a 400 ppm ya que un día después de los tratamientos (Li *et al.*, 2008), las hojas mostraron una reducción significativa, pero recuperándose dos días después. En nuestro estudio, realizado en condiciones climáticas mediterráneas, las aplicaciones de etefón a 1200 ppm no tuvieron un efecto decreciente en g_s , A_{CO_2} y E_i en las parcelas Clemenules y Fortune y, entre 1 y 3 días después de los tratamientos. Sin embargo, estas aplicaciones sí que mostraron un efecto a corto plazo en las parcelas Orogrande, Marisol y Navel Lane Late, que mostraron una mayor susceptibilidad o sensibilidad al etefón. La variedad con mayor sensibilidad al etefón fue la de la naranja tardía, ya que 1 y 2 días después de aplicar el etefón se observaron reducciones significativas de estos parámetros.

En lo que respecta a la capacidad de interceptación de la luz, se ha visto un efecto del etefón y de la vibración en la variedad de naranja Navel Lane Late, y sólo del etefón en la parcela 1 de Orogrande, ya que en la variedad Marisol no fue significativa esta reducción de captación de luz. La defoliación producida por estos factores produjo una disminución

temporal en la captación de luz por parte de la copa, que se restauró sin problemas con el paso del tiempo. En el resto de variedades ensayadas (Fortune, Clemenules y Marisol), no se ha observado una reducción significativa debida a las aplicaciones de etefón ni a la recolección mecánica, coincidiendo con Li *et al.* (2006).

A pesar de la disminución temporal producida en la interceptación de luz y en el resto de los parámetros fisiológicos estudiados en algunas de las variedades de mandarina, la producción de la campaña en la que se realizaba el ensayo no se vio afectada por la vibración en ninguna de las variedades de mandarina estudiadas. La radiación interceptada está considerada como la base de la potencial productividad del fruto y de la materia seca total de los sistemas de cultivo (Jackson, 1980; Palmer 1989; Robinson y Lakso, 1991; Lakso, 1994), así como el único proceso manejable para influir en la productividad potencial del cultivo así como el factor limitante de toda la productividad total de la copa es la interceptación de radiación (Wünsche *et al.*, 1996),

La dosificación de etefón no afectó significativamente a la producción durante la misma campaña en que se aplica en ninguna de las variedades estudiadas..

Sin embargo, el etefón disminuyó significativamente la producción de la siguiente campaña en las dos parcelas de la mandarina Orogrande, sobre todo en la naranja tardía Navel Lane Late, en la cual tanto el etefón y la vibración de troncos disminuyeron significativamente la producción. Esta elevada sensibilidad al etefón y a la recolección mecánica de la variedad de naranja Navel Lane Late, mayor que la del resto de mandarinas del estudio era esperable, debido a que en el momento de la recolección, esta variedad tardía de naranja, presentaba, además de los frutos maduros de la campaña en cuestión, flores, y frutitos verdes de la siguiente campaña.

Las pérdidas de producción han sido investigadas en otros estudios relacionados con la evaluación de las máquinas de recolección en las naranjas tardías (Hedden *et al.*, 1984; Roka *et al.*, 2005). En los climas húmedos subtropicales tales como el de Florida, donde la floración de los cítricos se puede desencadenar por la lluvia o la irrigación después de un

Discusión

período seco se puede retrasar la floración utilizando las estrategias de estrés por sequía aplicadas en invierno. Se sabe que un retraso de 4 ó 5 semanas en la floración de naranjos tardíos es una estrategia efectiva para reducir el tamaño del frutito en el momento de la recolección, disminuyendo significativamente la producción de la siguiente campaña (Melgar *et al.*, 2010).

En nuestras condiciones climáticas, sin embargo, las estrategias de estrés por sequía no son útiles para la recolección mecánica en naranjos de maduración tardía, ya que en regiones subtropicales secas la floración es inducida principalmente por variaciones en la temperatura.

En conclusión, el uso de etefón como un agente de abscisión para aumentar la eficiencia de la recolección mecánica parece no afectar al árbol o tener un efecto temporal corto en el estado fisiológico, dependiendo de las variedades de cítricos, pero podría producir una ligera reducción de la producción en la siguiente campaña en mandarinas y seguramente produce una gran reducción de la producción de la campaña siguiente en naranjas de maduración tardía, como ocurre en Navel Lane Late, donde la fruta madura coexiste con frutitos de la próxima campaña. Además, el etefón no tuvo efecto sobre el derribo de fruta en las parcelas de Clemenules y Fortune y el porcentaje de frutos derribados sin cáliz aumentó con la dosis de etefón en todas las variedades estudiadas. Por otro lado, se ha observado que el etefón produce manchas en la piel en las parcelas Orogrande, Marisol y Clemenules y que el número de frutos con manchas aumentó con la dosis. Teniendo en cuenta todos estos resultados, se considera que el etefón nunca debe ser usado como un agente de abscisión en las variedades de cítricos Clemenules, Fortune y Navel Lane Late y sólo podría ser recomendado para los cítricos destinados a la industria de zumos en el caso de variedades de mandarinas Orogrande y Marisol. Teniendo en cuenta totalmente la alta eficiencia en el derribo de fruta de la recolección mecanizada utilizando vibradores de tronco, entre el 70-85%, el bajo porcentaje de frutos derribados sin cáliz, y el

no efecto o efecto temporal a corto plazo en el estado fisiológico y sobre la producción de la campaña siguiente, se considera que esta solución podría ser factible para las variedades de cítricos que se cultivan en España destinado al mercado para consumo en fresco y mercado de la industria, excepto para las variedades de cítricos de maduración tardía donde coexisten frutos de la siguiente campaña..

9.- CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta tesis son las siguientes:

- 1) La eficiencia del vibrador de troncos sin la aplicación de etefón en cuanto al derribo de fruta es del 70-85% y no depende de la parcela de cítricos (variedad) estudiada. La cantidad de fruta derribada sin cáliz fue mínima, del orden 0.60-9.3% y la defoliación producida estuvo entre 0.57-1.86 kg/hoja árbol.
 - a. En el híbrido Fortune se derribó un 70% de la fruta, un 71% en la naranja tardía Navel Lane Late, un 73% en la clementina temprana Marisol, un 82% en la mandarina Orogrande y un 85% en la mandarina Clemenules.
 - b. Se obtuvo entre 0.60-5.42% de fruta sin cáliz en las dos parcelas de mandarinas Orogrande, un 3.90% en las mandarinas Marisol, un 6.20% en las mandarinas Clemenules, entre un 3-8.42% en la naranja tardía Navel Lane Late y por último, un 9.30% en los híbridos Fortune.
 - c. La defoliación producida en las mandarinas Marisol fue de 0.57-0.74 kg/hoja árbol, en las dos Orogrande de 0.95-1.45 kg/hoja árbol, en la naranja Navel Lane Late de 1.48-1.79 kg/hoja árbol, 1.16 kg/hoja árbol y 1.86 kg/hoja árbol en las mandarinas Clemenules.
 - d. En el primer año de vibración, se derribaron mayor cantidad de hojas debido a que cayeron las hojas que estaban en estado de senescencia. El segundo año de vibración, la defoliación fue menor debido a que las hojas remanentes eran jóvenes.
 - e. Todos los árboles se recuperaron de la defoliación producida por la vibración.
- 2) El vibrador produjo daños menores en la corteza y ramas de algunos árboles, debido a las maniobras realizadas para llegar al tronco y a las ramas inferiores

perpendiculares, debido a la no adecuación de las plantaciones a este tipo de recolección. Una poda adecuada reducirá los daños..

- 3) El etefón aumenta el derribo de fruta por parte del vibrador de troncos y lo hace conforme aumenta la dosis aplicada, excepto en las parcelas de Clemenules y Fortune. El aumento en Marisol fue de un 21%, entre 9-12% en las mandarinas Orogrande y 17% en la variedad de naranja tardía Navel Lane Late.
- 4) El etefón también aumenta la cantidad de fruta derribada sin cáliz en todas las parcelas estudiadas, del orden de 5% en Marisol, entre 15-42% en Orogrande y un 71% en Navel Lane Late, así como la defoliación producida y lo hace conforme aumenta la dosis. En el segundo año de ensayo, la cantidad de hojas derribadas también fue menor.
- 5) El etefón promueve el cambio de color de la corteza de la fruta de las variedades Orogrande, Marisol y Clemenules, en las que que el ICC en el momento de la aplicación fue negativo, pudiéndose evitar el paso de la fruta por la cámara de desverdizado.
- 6) El etefón no produjo gomosis o muerte de las ramas en ninguna de las dosis aplicadas, pero sí un ablandamiento de la corteza de los frutos en las variedades de mandarina Orogrande y Clemenules y manchas en la corteza de algunos frutos de las variedades Orogrande, Marisol y Clemenules, aumentando el número de fruta manchada conforme lo hacía la dosis de etefón aplicada.
- 7) La aplicación de 2400-12600 mg etefón/árbol no tuvo efecto sobre la calidad del zumo en ninguna de las parcelas estudiadas.
- 8) Ni el vibrador de troncos ni el etefón tuvieron efecto sobre el estado hídrico de los árboles.
- 9) El vibrador de troncos y el etefón no tuvieron efecto o tuvieron un efecto temporal sobre el intercambio gaseoso de las hojas dependiendo de la variedad estudiada.

Conclusiones

- 10) El etefón produjo una disminución a corto y largo plazo (al mes y a los 7 meses de la aplicación) en la capacidad de interceptar la radiación PAR en la variedad Orogrande. A pesar de ello, los valores se restauraron completamente a los dos años de la aplicación. .
- 11) El etefón y la vibración disminuyeron alrededor de un 7-10% la capacidad de interceptar la radiación PAR en la naranja tardía Navel Lane Late al mes de la aplicación y pocos días después de la vibración. A pesar de ello, los árboles se recuperaron de la defoliación al cabo de unos meses.
- 12) La producción de la campaña siguiente no se vio afectada por la vibración en ninguna variedad de mandarina. Únicamente disminuyó la producción en la naranja tardía Navel Lane Late, debido a que presentaba flores y frutitos verdes en el momento de la recolección.
- 13) El etefón disminuyó la producción de la campaña siguiente en las naranjas tardías Navel Lane Late y cuando se aplicó a elevadas dosis en la mandarina Orogrande.
- 14) Se recomienda la recolección mecanizada con vibrador de troncos en los cultivos de cítricos españoles en todas las variedades de mandarina y de híbridos destinados al mercado de consumo en fresco como para industria, excepto para la variedad Navel Lane Late y en general en todas las naranjas tardías, ya que produjo una disminución de la producción en la siguiente campaña al presentar esta variedad flores y frutitos verdes en el momento de la recolección.
- 15) Sólo se recomienda la aplicación de etefón como abscisor para la recolección con vibrador en mandarinas Marisol destinadas a la industria, pero no en las variedades Orogrande (ya que disminuye la producción) ni en Clemenules y Fortune (porque no tiene efecto). Tampoco se recomienda en la naranja tardía Navel Lane Late (naranjas tardías en general) debido a que provoca una disminución de la producción en la campaña siguiente.

- 16) No se recomienda la aplicación de etefón para la recolección con vibrador de fruta destinada a consumo en fresco, ya que además de aumentar el derribo de fruta sin cáliz y la defoliación, produce ablandamiento en Orogrande y Clemenules y manchas en la corteza de los frutos de las variedades Orogrande, Clemenules y Marisol.

10.- BIBLIOGRAFÍA

Addicott FT, 1968. Environmental factors in the physiology of abscission. *Plant Physiol.* 43(9): 1471-1479.

Agustí M, 2000. *Citricultura*. Ediciones Mundi-Prensa, Valencia, España. 422 pp.

Alfárez F, Singh S, Umbach A, Hockema B, Burns JK, 2005. Citrus abscission and Arabidopsis plant decline in response to 5-chloro-3-methyl-4-nitro-1H-pyrazole are mediated by lipid signalling. *Plant Cell. Environ.* 28: 1436-1449.

Alfárez F, Pozo L, Burns JK, 2006. Physiological changes associated with senescence and abscission in mature citrus fruits induced by 5-chloro-3-methyl-4-nitro-1H-pyrazole and ethephon application. *Physiol. Plant.* 127: 66-73.

Arenas FJ, Hervalejo A, 2012. *Primeras experiencias del sistema de cultivo superintensivo en cítricos*

Assmann SM, Simoncini L, Schroeder JI, 1985. Blue light activates electrogenic ion pumping in guard cell protoplasts of *Vicia faba*. *Nature* 318 (6043): 285 - 287.

Ballester C, Castel J, Abd El-Mageed T, Castel JR, Intrigliolo DS, 2014. Long-term response of 'Clementina de Nules' citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agr Water Manage* 138: 78–84.

Barkataki S, Morgan TK, Ebel RC, 2013. Plant water requirement of 'Hamlin'sweet orange in cold temperature conditions. *Irrig Sci* 31: 431–443.

BenSalem E, Salyani M, Whitney JD, 2001. Spray variable effects on deposition and harvesting efficacy of CMN-Pyrazole. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 114:111-118.

Brown KM, 1997. Ethylene and abscission. *Physiol. Plant.* 100: 567-576.

Brown GM, 2005. New mechanical harvesters for the Florida citrus juice industry. *HortTechnology*. 15(1): 69-71.

Bukovac MJ, 1979. Machine-harvest of sweet cherries: effect of ethephon on fruit removal and quality of the processed fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104(3): 289-294.

Burns JK, Hartmond U, Kende, WJ, 1999. Acetolactate synthase inhibitors increase ethylene production and cause fruit drop in citrus. *HortScience*, 34(5): 908-910.

Burns JK, 2002. Using molecular tools to identify abscission materials for citrus. *HortScience*, 37: 459-464.

Burns JK, Pozo L, Yuan R, Hocknema B, 2003a. Guanfacine and clonidine reduce defoliation and phytotoxicity associated with abscission agents. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (1): 42-47.

Burns JK, Alférez F, Pozo L, Arias C, Hocknema B, Rangaswamy V, Bender C, 2003b. Coronatine and abscission in Citrus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (3): 309-315.

Burns JK, Pozo L, Morgan K, Roka F, 2006a. Better spray coverage can improve efficacy of abscission sprays for mechanically harvested oranges. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 119: 190-194.

Burns JK, Roka F, Li K-T, Pozo L, Buker R, 2006b. Late-season 'Valencia' Orange mechanical harvesting with an abscission agent and low-frequency harvesting. *HortScience* 41(3): 660-663.

Burns JK, 2008a. 1-Methylcyclopropene applications in preharvest systems: focus on citrus. *HortScience* 43: 112-114.

Burns JK, Ferguson L, Glozer K, Krueger WH, Rosecrance RC, 2008b. Screening fruit loosening agents for black ripe processed table olives. *HortScience* 43(5):1449–1453.

Campbell GS, Norman JM, 1998. *Environmental biophysics*. Springer-Verlag, New

Bibliografía

York, second edition, ISBN 0-387-94937-2: 41 y 224-225.

CLAM, 2014. Les Exportation D'agrumes du bassin mediterraneen. Statistiques, Evaluations, Repartitions. Situation 2014-2015. Secretariat general de C.L.A.M. Madrid Comité de gestión de cítricos.

Coppock GE, Hedden SL, Lenker DH, 1969. Biophysical properties of citrus fruit related to mechanical harvesting. TRANSACTIONS OF THE ASAE 12(4): 561-563.

Correia MJ, Chaves MM, Pereira JS, 1990. Afternoon Depression In Photosynthesis in Grapevine Leaves. Evidence for a High Light Stress Effect. Journal of Experimental Botany 41 (4): 417-426

Domec J-C, Scholz FG, Bucci SJ, Meinzer FC, Goldstein G, Villalobos-Vega R, 2006. Diurnal and seasonal variation in root xylem embolism in neotropical savanna woody species: impact on stomatal control of plant water status. Plant, Cell & Environment 29 (1): 26-35.

Ebel RC, Burns JK, Morgan KT, Roka F, 2010. Abscission agent application and canopy shaker frequency effects on mechanical harvest efficiency of sweet oranges. HortScience, 45(7): 1079-1083.

Farooq M, Salyani M, Whitney JD, 2002. Improving efficacy of abscission sprays for mechanical harvesting of oranges. Proc. Fla. State Hort. Soc., 115: 247-252.

Fidelibus MW, Cathline KA, Burns, JK, 2007. Potential abscission agents for raisin, table and wine grapes. HortScience. 42: 1626-1630.

Fischer RL, Bennett AB, 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. Annu. Rev. Plant Mol. Biol. 42: 675-703.

Gilfillan IM, Lowe SJ, 1985. Fruit color improvement in Satsumas with paclobutrazol and ethephon-preliminary studies. Citrus Subtrop Fruit J 624(8): 4-6.

Gollan T, Schurr U, Schulze ED, 1992. Stomatal response to drying soil in relation to

changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. The concentration of cations, anions, amino acids in, and pH of, the xylem sap. *Plant, Cell & Environment* 15 (5): 551-559.

González-Sicilia E, 1968. El cultivo de los agrios. Ed. Bello. Valencia, España.

Hacke U, Stiller V, Sperry J, Pitterman J, McCulloh, A 2001. Cavitation fatigue. Embolism and refilling cycles can weaken the cavitation resistance of xylem. *Plant Physiology* 125 (2), 779-786.

Hartmond U, Whitney JD, Burns JK, Kender WJ, 2000a. Seasonal variation in the response of 'Valencia' orange to two abscission compounds. *HortScience*. 35: 226-229.

Hartmond U, Yuan R, Burns JK, Grant A, Kender W, 2000b. Citrus fruit abscission induced by methyl-jasmonate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(5): 547-552.

Hashinaga F, Ito S, 1985. Effect of ethephon on the maturity of Meiwa Kumquat fruit. *Bulletin, Faculty of Agric., Kagoshime Univ.*, 35: 43-47.

Hedden SL, Churchill DB, Whitney JD, 1984. Orange removal with trunk shakers. *Proc Fla State Hort Soc* 97: 47-50.

Hsiao TC, Heng L., Steduto P, Rojas-Lara B, Raes D, Fereres E, 2009. AquaCrop The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Marisolize. *II. Agronomy Journal* 101 (3): 448-459.

Hukin D, Cochard H, Dreyer E, Le Thiec D, Bogaert-Triboulot MB, 2005. Cavitation vulnerability in roots and shoots: does *Populus euphratica* Oliv, a poplar from arid areas of Central Asia, differ from other poplar species? *Journal of Experimental Botany* 56 (418): 2003 -2010.

Intrigliolo DS, Gonzalez-Altozano P, Gasque M, Castel JR, 2008. Efectividad y transferibilidad de la relación potencial hídrico de tallo déficit de presión de vapor entre

Bibliografía

distintos huertos de cítricos de la Comunidad Valenciana. Proc IX Symposium hispano-portugués de las relaciones hídricas en plantas, Lloret de Mar (Spain), Oct 14-17. pp: 167-170.

Jackson RD, 1980. Light interception and utilization by orchard systems. Hort. Rev. 2:208-267.

Jackson RD, Idso SB, Reginato RJ, Pinter PJ, 1981. Canopy temperatura as a crop water stress indicator. Water Resources Researc 17 (4): 1133-1138.

Jiménez-Cuesta M, Cuquerella J, Martínez-Jávaga JM, 1981. Determination of color index for citrusfruit degreening Proc. Int. Soc. Citriculture, 2: 750-753.

Junta de Andalucía, 2014a. Costes medios de producción. Campaña 2011-2012. Mandarina. Disponible en www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/servlet/frontController?action=Costes&ec=subsector&subsector=21&table=3945.

Junta de Andalucía, 2014b. Costes medios de producción. Campaña 2011-2012. Naranja. Disponible en www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/servlet/frontController?action=Costes&ec=subsector&subsector=21&table=3945.

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, 8:29-36.

Kender WJ, Hartmond U, Yuan R, Pozo L, Grant A, 2000. Factors influencing the effectiveness of ethephon as a citrus fruit abscission agent. Proc. Fla. State Hort. Soc. 113: 88-92.

Klein I, Epstein E., Lavee S Ben-Tal Y, 1978. Environmental factors affecting ethephon in olive. Scientia Hort. 9: 21-30.

Koo YM, Salyani M, Whitney JD, 1999. Effects of abscission chemical spray deposition on mechanical harvest efficacy of 'Hamlin' orange. Proc. Fla. State Hort. Soc., 112: 28-33. Kostenuyk, I.A., Burns, J.K. 2004. Mechanical wounding and abscission in citrus. *Physiol. Plant.* 122: 354-361.

Kramer PJ, Boyer JS, 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press, San Diego, Cal., USA: 1-481.

Ladaniya MS, 2008. Citrus fruit. Biology, Technology and evaluation. Chapter 5 (p 103-124).

Lakso AN, 1994. Environmental physiology of the apple, p.3-42. In: B. Schaffer and P.C. Andersen (eds.). Environmental physiology of fruit crops, vol. 1. Temperature crops. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Levene H, 1960. Robust tests for equality of variances, in contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hotelling, (Olkin I, Ghurye SG, Hoeffding W, Madow WG & Mann HB, eds). Stanford Univ. Press, Palo Alto, CA, USA, pp: 278-292.

Li K-T, Syversten JP, 2004. Does mechanical harvesting hurt your trees? *Citrus Industry*, 85: 30-33.

Li K-T, Syversten JP, 2005a. Mechanical harvesting has little effect on water status and leaf gas exchange in citrus trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 130:661-666.

L, K-T, Syversten JP, Burns JK, 2005b. Mechanical harvesting of Florida citrus trees has little effect on leaf water relations or return bloom. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 118:22-24.

Li K-T, Syversten JP, Dunlop J, 2006. Defoliation after harvest with a trunk shaker does not affect canopy light interception in orange trees. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 119:187-189.

Li K-T, Burns JK, Syversten JP, 2008. Recovery from phytotoxicity after foliar

Bibliografía

application of fruit-loosening abscission compounds to citrus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133(4):535–541.

Lichtenthaler HK, 2003. El estrés y la medida del estrés en las plantas. La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis. M.J. Reigosa, N. Pedrol, y A. Sánchez (Eds.). Thompson Editores, España: 59-113.

Gutiérrez A Blasco J, Chueca P, Garcerá C, Alegre S, López S, Cubero S, Moltó, E, 2012. Harvesting and In-Field Sorting of Citrus in a Self-Propelled Machine. *ActaHortic.*965,49-152 DOI:10.17660/ActaHortic.2012.965.18

MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/>

MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/Boletin_Mensual_de_Estadistica_2015-01_tcm7-361261.pdf

McCutchan H, Shackel KA, 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 607-611.

Martin GC, Lavee S, Sibbett GS, 1981. Chemical loosening agents to assist mechanical harvest of olive. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 325-330.

Medrano H, Escalona JM, Cifre J, Bota J, Flexas J, 2003. A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biol.* 30 (6): 607-619.

Melcher PJ, Zwieniecki MA, Holbrook M, 2003. Vulnerability of xylem vessels to cavitation in sugar maple. Scaling from individual vessels to whole branches. *Plant*

Physiology 131 (4), 1775-1780.

Melgar JC, Dunlop J, Albrigo G, Syvertsen JP, 2010. Winter drought stress can delay flowering and avoid immature fruit loss during late-season mechanical harvesting of 'Valencia' oranges. HortScience 45(2): 271–276.

Moreno R, Torregrosa A, Moltó E, Chueca P, 2015. Effect of harvesting with a trunk shaker and an abscission chemical on fruit detachment and defoliation of citrus grown under Mediterranean conditions. Spanish Journal of Agricultural Research. 13(1), e02-006, 12 pages.

Mortimer RG, 2008. Physical chemistry. Third edition. Elsevier Academic Press. Burlington, Marisol., USA; San Diego, Ca., USA; and London, UK: 1-188.

Moseley KR, House LA, Roka F, 2012. Adoption of mechanical harvesting for sweet orange trees in florida: addressing grower concerns on long-term impacts. Int Food Agribus Marisoln 15(2): 83-98.

Nardini A, Tyree MT, alleo S, 2001. Xylem Cavitation in the leaf of Prunus laurocerasus and its impact on leaf hydraulics. Plant Physiology 125 (4), 1700-1709.

Nebauer SG, Renau-Morata B, Guardiola JL, Molina VR, 2011. Photosynthesis down-regulation precedes carbohydrate accumulation under sink limitation in Citrus. Tree Physiolog. 311, 69-77.

Ortiz C, Torregrosa A, 2013. Determining the adequate vibration frequency, amplitude and time for the mechanical harvesting of fresh mandarins. T ASABE 56(1): 15-22.

Palmer JW, 1989. Canopy manipulation for optimum utilization of light. P.245-252. In: C. J. Wright (ed).- Marisolnipulation of fruiting, Butterwoths, London.

Patterson SE, Bleecker AB, 2004. Ethylene-dependent and -independent processes associated with floral organ abscission in Arabidopsis. Plant Physiol. 134: 194-203.

Bibliografía

Peterson DL, 1998. Mechanical harvester for process oranges. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol 14(5): 455-458.

Pons J, Almela V, Agustí M, 1992. Use of ethephon to promote colour development in early ripening clementine cultivars. *Proc Int Soc Citriculture* 1: 459-462.

Pozo L, Burns JK, 2000. Ethylene action inhibitors reduced Ethrel-induced leaf drop and gummosis in citrus. *Proc. Intl. Soc. Citricult. IX Congr.* 1: 578-579.

Pozo L, Redondo A, Hartmond U, Kender WJ, Burns JK, 2004a. Dikegulac promotes abscission in citrus. *HortScience*, 39(7): 1655-1658.

Pozo L, Yuan R, Kostenyuk I, Alférez F, Zhong G, Burns JK, 2004b. Differential effects of 1-methylcyclopropene on citrus leaf and mature fruit abscission. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129(4): 473-478.

Pozo L, Burns JK, 2006. 1-Methylcyclopropene reduces fruitlet loss caused by ethephon foliar sprays. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 119: 183-186.

Pozo L, Burns JK, 2009. Organ loss and yield impacts of 'Valencia' sweet orange in response to fruit abscission agents. *HortScience*, 44(1): 83-88.

Ramos DE, 1997. Walnut production manual. University of California Agriculture and Natural Resources Publication 3373.

Rasmussen GK, 1977. Loosening of oranges with pik-off, release, acti-aid and sweep combinations. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 90: 4-6.

Roberts JA, Elliot KA, González-Carranza ZH, 2002. Abscission, dehiscence, and other cell separation process. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 131-158.

Robinson L, Lakso AN, 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:199-194.

Roka FM, Burns JK, Buker RS, 2005. Mechanical harvesting without abscission

agents: Yield impacts on late season 'Valencia' oranges. Proc Fla State Hort Soc 118: 25–27.

Salisbury FB, Ross CW, 2000. Fisiología de las plantas. Células: agua, soluciones y superficies. Ed. Paraninfo Thomson Learning, Marisoldrid: 5-275.

Schimmenti E, Borsellino V, Galati A, 2013. Growth of citrus production among the Euro-Mediterranean countries: political implications and empirical findings. Span J Agric Res 11(3): 561-577.

Sexton R, 1995. Abscission, p. 497–525. In: M. Pessaracle (ed.). Handbook of plant crop physiology. Marcel Dekker, New York.

Slatyer RO, Taylor SA, 1960. Terminology in plant -and soil- water relations. Nature 187 (4741): 922-924.

Suits DB, 1957. Use of dummy variables in regression equations. J Am Staist Assoc 52: 548-551.

Sumner HR, 1973. Selective harvesting of Valencia oranges with a vertical canopy shaker. Transactions of the ASAE, 16(6): 1024-1026.

Syversten JP, 1994. Partial shoot removal increases net CO₂ assimilation and alters water relations of Citrus seedlings. Tree Physiology, 14: 497-508.

Torregrosa A, Almela V. Bernad JJ, Ortí E, Pérez M, Martín B, 2007. Recolección de mandarinas Clemenules mediante procedimientos mecánicos. Levante Agrícola, 327: 357-360.

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

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

Bibliografía

Turner NC, 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*. 58: 339-366.

Tyree MT, Zimmermann, MH, 2002. Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York: 105-113.

Tyree MT, 2003. Plant hydraulics: The ascent of water. *Nature* 423 (6943): 923.

Warner HL, Leopold AC, 1969. Ethylene evolution from 2-chloroethylphosphonic acid. *Plant Physiol*. 44: 156-158.

Wheaton TA, Wilson WC, Holm RE, 1977. Abscission response and color changes of 'Valencia' oranges. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(5): 580-583.

Whitney JD, Churchill DB, Hedden SL, 1986. A five-years study of orange removal with trunk shakers. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 99: 40-44.

Whitney JD, Wheaton TA, 1987. Shakers affect Florida orange fruit yields and harvesting efficiency. *Applied Engineering in Agriculture*. 3(1):20-24.

Whitney JD, 1995. A review of citrus harvesting in Florida. *Trans. Citrus. Eng. Conf*, 41: 33-60.

Whitney JD, 1997. Field test results with mechanical citrus fruit removal devices. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 110: 89-92.

Whitney JD, Hartmond U, Kender WJ, Burns JK, Salyani M, 2000a. Orange removal with trunk shakers and abscission chemicals. *Applied Engineer in Agricultura*, 16(4): 367-371.

Whitney JD, Hartmond U, Kender WJ, Salyani M, Burns JK, 2000b. Abscission chemicals affect trunk shaker. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 113: 93-96.

Whitney JD, 2003. Trunk shaker and abscission chemical effects on yields, fruit removal, and growth of orange trees. *HortTechnology*, 13(2): 344-351.

Wilson WC, 1973. Problems encountered using cycloheximide to produce abscission of oranges. HortScience 8: 323-324.

Wilson WC, Holm RE, Clark RK, 1977. Abscission chemicals-Aid to citrus fruit removal. Proc. Int. Soc. Citric. 2: 404-406.

Wilson WC, 1978. The mode of action of growth regulators and other abscission chemicals in loosening citrus fruits. Acta Hort. 80: 265-270.

Wilson WC, Coppock GE, Clark J.A, 1981. Growth regulators facilitate harvesting of oranges. Proc. Int. Soc. Citric. 1: 278-281.

Wünsche JN, Lakso AN, Robinson TL, 1995. Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying form. HortScience 30:272-276.

Wünsche JN, Lakso AN, Robinson TL, 1996. The bases of productivity in apple production systems: The role of light interception by different shoot types. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121 (5): 886-893.

Yang SF, 1969. Ethylene evolution from 2-chloroethylphosphonic acid. Plant Physiol. 44: 1203-1204.

Young RH, Jahn OL, Smoot JJ, 1974. Coloring and loosening of citrus fruits with ethephon. Proc Fla State Hort Soc 87: 24-28.

Yuan R, Hartmond U, Kender WJ, 2001b. Physiological factors affecting response of mature 'Valencia' orange fruit to CMN-Pyrazole. II. Endogenous concentrations of indole-3-acetic acid, abscisic acid, and ethylene. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126: 420-426.

Yuan R, Kender WJ, Burns JK, 2003. Young fruit and auxin transport inhibitors affect the response of mature 'Valencia' orange fruit to abscission materials via changing endogenous plant hormones. HortScience, 40(7)2011-2015.

Yuan R, Burns JK, 2004. Temperature factor affecting the abscission response of

Bibliografía

mature fruit and leaves to CMN-Pyrazole and ethephon in 'Hamlin' oranges. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129(3): 287-293.

Yuan R, Alférez F, Kostenyuk I, Singh S, Syversten JP, Burns JK, 2005. Partial defoliation can decrease average leaf size but has little effect on orange tree growth, fruit yield and juice quality. HortScience, 40(7):2011.

Zeiger E, Hepler PK, 1977. Light and Stomatal Function: Blue Light Stimulates Swelling of Guard Cell Protoplasts. Science 196 (4292): 887-889.

Zeiger E, Talbott LD, Frechilla S, Srivastava A, Zhu J, 2002. The guard cell chloroplast: a perspective for the twenty-first century. II New Phytologist 153 (3): 415-424.

11.- ANEJOS

11.1.- VARIABLES DE ESTADO FISIOLÓGICO

A continuación, se describen las variables de estado fisiológico que más se han visto afectadas por los abscisores y también por la vibración.

11.1.1.- El estado hídrico de la planta. Potencial hídrico.

En la actualidad, la teoría más consistente para explicar el ascenso del agua en las plantas es la coheso-tensiva. Esta teoría indica que el flujo de savia es un fenómeno pasivo, que no gasta energía metabólica, y que está impulsado por la evaporación del agua en las hojas. La evaporación crea una tensión o presión negativa en los nano-espacios entre las fibrillas de las paredes del mesófilo foliar expuestas a la atmósfera intercelular. Esta tensión se transmite a los capilares del xilema y dentro de este tejido hasta el xilema de la raíz, traccionando el agua desde la raíz, y provocando un flujo que conecta el suelo con la atmósfera. El agua se mueve por un continuo suelo-planta-atmósfera, el SPAC. La columna de agua se mantiene íntegra en el xilema gracias a la fuerza cohesiva que existe entre las moléculas de agua (Tyree y Zimmermann, 2002). El agua en el xilema se encuentra en un estado metaestable, propensa a vaporizarse, debido a la presión negativa dentro de los conductos (Tyree, 2003). Cuando el xilema está sometido a excesivas tensiones si existe déficit hídrico, algunos conductos sufren embolia gaseosa y pierden su funcionalidad (Hacke *et al.*, 2001; Nardini *et al.*, 2001; Melcher *et al.*, 2003; Hukin *et al.*, 2005; Domec *et al.*, 2006).

La teoría coheso-tensiva logró completar su fundamentación termodinámica, lo que permitió explicar el mecanismo de transporte de agua sobre una base física. En este aspecto fue fundamental el desarrollo del concepto de potencial hídrico por Slatyer y Taylor (1960), como una medida de la energía libre del agua y de su

Anejos

capacidad para realizar trabajo. Desde un punto de vista termodinámico, la teoría indica que la fuerza impulsora del agua entre dos puntos cualesquiera de la planta –y por extensión en el SPAC– es generada por la diferencia de energía libre de Gibbs entre esos dos puntos. El agua en la planta se mueve siempre desde un punto de mayor energía libre hacia un punto de menor energía libre, es decir, a través de un gradiente de energía. La energía libre de Gibbs es una medida de la máxima energía disponible en un sistema, que puede convertirse en trabajo, a presión y temperatura constantes (Salisbury y Ross, 2000). Esta energía equivale a la suma de la entalpía del agua, y del producto de su entropía, por su temperatura absoluta.

Durante muchos años los fisiólogos vegetales habían discutido los movimientos del agua en términos de diferencias de presión y no de energía libre –que por otro lado no es fácil de medir–, por lo que, para adaptarse a esta modalidad, se desarrolló el concepto de potencial hídrico, que se mide en unidades de presión. Slayter y Taylor (1960) definieron al potencial hídrico (Ψ) como la diferencia de potencial químico del agua –o sea la energía libre de Gibbs, por unidad de materia– con respecto a la del agua pura a la misma temperatura y a la presión atmosférica –que se considera convencionalmente con un $\Psi = 0$.

Al incluir el concepto de Ψ , el mecanismo coheso-tenso-transpiratorio puede ser explicado por los siguientes conceptos (Kramer y Boyer, 1995): La evaporación –o transpiración– baja el Ψ de las hojas, creando una tensión que es transmitida al xilema y de éste a la raíz. Esto causa un gradiente de potencial hídrico que provoca el ingreso del agua a la raíz y su ascenso por el xilema hasta las hojas – moviéndose desde un mayor a un menor Ψ . Por lo tanto, la absorción de agua y su ascenso son controlados por la transpiración. El agua es muy cohesiva y puede soportar Ψ muy bajos, sin que se rompa la columna líquida, cuando está confinada en los capilares del xilema y no existen burbujas de aire. El agua forma un sistema continuo en la planta que va, desde

el suelo en contacto con las raíces, hasta la superficie evaporante de las hojas –el SPAC–, pasando por los elementos conductores del xilema. La transpiración se produce porque existe una diferencia de Ψ entre la superficie de las células del mesófilo (atmósfera foliar) y la atmósfera exterior. El Ψ de la atmósfera exterior puede calcularse teniendo en cuenta los efectos de la presión sobre la energía libre de Gibbs para un gas ideal (Mortimer, 2008).

11.1.2.- Intercambio gaseoso de las hojas. Conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis neta

El intercambio de gases es el mecanismo por el cual la planta capta el oxígeno y expulsa el CO_2 a la atmósfera, y que tiene lugar en los estomas, que son poros microscópicos situados en la epidermis de las hojas. La conductancia estomática representa el principal mecanismo de control biológico de la transpiración. La transpiración es un fenómeno difusivo, por el cual el vapor atraviesa los estomas, en las plantas terrestres. El ingreso de CO_2 , indispensable para la fijación fotosintética del carbono, se realiza también en forma difusiva y a través de los mismos estomas. Si éstos permanecieran siempre abiertos, las plantas perderían tanta agua que podrían morir por deshidratación. Por otro lado, si se cerraran indiscriminadamente para evitar la pérdida de agua, las plantas morirían por falta de asimilación. Las plantas han evolucionado para mantener un compromiso favorable entre transpiración y asimilación de carbono, y para ello han desarrollado un mecanismo sumamente sensible que les permite abrir y cerrar los estomas, rápidamente y en forma reversible, ante una serie de estímulos. La apertura estomática se produce cuando ingresa agua y aumenta la turgencia de las células oclusivas, como consecuencia de la disminución de su potencial osmótico. Debido a la forma de riñón de estas células, y a que tienen engrosadas las paredes que limitan con el poro estomático, el aumento de turgencia

Anejos

provoca que las células se arqueen y el poro estomático se abra. Cuando se pierden iones se produce el mecanismo inverso y el estoma se cierra. Los estímulos que desencadenan el mecanismo, provocando la apertura o cierre, son de índole ambiental y endógena e incluyen a la luz, la concentración foliar interna de CO_2 (C_i), la temperatura, el estado hídrico de la hoja y la presencia de hormonas vegetales, especialmente ABA. La luz –en especial la luz azul, y secundariamente la luz roja– provoca la apertura de los estomas al activar la H^+ -ATPasa, que bombea protones a través de las membranas de las células oclusivas hacia el apoplasto (Assman *et al.*, 1985; Zeiger y Hepler, 1977). La pérdida de H^+ en el citoplasma crea un gradiente eléctrico que provee la fuerza impulsora para la absorción de K^+ , a través de canales iónicos que también son activados (Zeiger *et al.*, 2002).

A partir de la concentración de solutos que alcanzan las células oclusivas, por efecto de los factores ambientales y bióticos indicados anteriormente (luz, C_i , H^+ y ABA), estas absorben una cierta cantidad de agua. Esta agua produce una cierta turgencia; y esta turgencia se traduce en una determinada conductancia estomática (g_s). Esto ocurre mediante una serie de equilibrios hidráulicos y mecánicos que se establecen entre los estomas, el resto de la planta y el ambiente hídrico circundante (atmosférico y edáfico).

Por otra parte, muchas veces la g_s (y concomitantemente la fotosíntesis neta) sufre una depresión durante el mediodía o las primeras horas de la tarde. Esto quiere decir que la evolución diaria de g_s tiene dos máximos. Esta depresión ha sido atribuida al efecto del estrés lumínico sobre los cloroplastos de las células oclusivas (Correia *et al.*, 1990).

En las plantas, la temperatura foliar es similar a la temperatura del aire; pero puede variar con respecto a la de éste, en unos pocos grados centígrados arriba o abajo, según lo abiertos que estén los estomas. Esto no es un tema menor desde el punto de vista de la transpiración. Una activa transpiración, cuando los estomas están

bien abiertos y la planta no sufre restricciones hídricas, produce una apreciable disminución de la temperatura, debido a la pérdida de calor latente utilizada en la vaporización del agua. La temperatura de la hoja está determinada por su balance energético. Este balance energético puede expresarse como la diferencia entre la radiación absorbida por la hoja (de onda corta y larga), menos las pérdidas de energía radiativa, de calor latente de vaporización y de calor sensible (Campbell y Norman, 1998; Jackson *et al.*, 1981).

La tasa fotosintética o fotosíntesis neta (A_{CO_2}) se expresa como la cantidad de CO_2 por unidad de área foliar y de tiempo y se define como la cantidad neta de carbono que se incorpora al vegetal en un momento dado. Es el proceso que explica en última instancia el crecimiento de un vegetal.

Además de los mecanismos de tolerancia ya descritos, las plantas disponen de otros que están relacionados con la protección del aparato fotosintético. Estos se han desarrollado como una adaptación al problema que se genera cuando, al cerrarse los estomas para evitar la pérdida de vapor de agua, se impide también el ingreso de CO_2 . Cuando esto ocurre, se bloquea la fotosíntesis y se dan las condiciones para un potencial daño del cloroplasto.

11.1.3.- Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa

La interceptación y uso de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (400 - 700 nm) o flujo de fotones fotosintético (PPF) por los sistemas de cultivo forma la base de la potencial productividad del fruto y de la materia seca total de dichos sistemas (Jackson, 1980; Palmer 1989; Robinson y Lakso, 1991; Lakso, 1994). Por lo tanto, el conocimiento de la interceptación total de luz en los diferentes cultivos es necesario para ayudar a comprender las bases de las diferencias en la producción y en la calidad de la fruta. Se sabe que en los sistemas de cultivo tales como en manzano, la producción de materia seca neta total es una función de la i)

Anejos

disponibilidad de la luz, ii) interceptación de la luz, iii) fotosíntesis y iv) respiración. La proporción de energía fotosintética interceptada que es convertida en biomasa se relaciona con la tasa fotosintética y el área foliar. De los anteriores cuatro factores clave, la interceptación de luz (radiación PAR) en lo relacionado con fotosíntesis de la copa parece ser i) el factor limitante de toda la productividad total de la copa y ii) via el diseño del árbol y de la copa, el único proceso manejable para influir en la productividad potencial del cultivo (Wünsche *et al.*, 1996).

11.2.- ANEJO DE TABLAS A. RESULTADOS REGRESIÓN.

Tabla R1. - Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada (%) en la campaña 09-10 tras la aplicación de etefón (*).
D: Dosis (mg/árbol).

Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Constante	73.3318	61.9266	<0.0001
D	0.00170975	6.17888	<0.0001
Orogrande B	7.97104	4.56405	<0.0001
Clemenules	10.0612	3.59466	0.0004
D*(Fortune)	-0.00162603	-5.56595	<0.0001
D*(Clemenules)	-0.00177364	-3.30138	0.0012
D*(Marisol)	0.000730992	1.98335	0.0492

(*) El modelo de regresión es significativo ($F=17.26$; $g.l.=6, 143$; $p<0.0001$). $R^2=42.0007\%$ y R^2 ajustado= 39.5672% .

Anejo de tablas A, Resultados Regresión

Tabla R2.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada (%) en la campaña 10-11 tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol).

Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Constante	69.2215	61.6188	<0.0001
D*(Orogrande B)	0.00169976	4.03535	0.0001
D*(Marisol)	0.00168994	4.01204	0.0001

(*) El modelo de regresión es significativo ($F=13.45$; $g.l.=2, 98$; $p<0.0001$). $R^2=21.8882\%$ y R^2 ajustado= 20.2609% .

Tabla R3.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada (%) en las tres campañas ensayadas (08-09, 09-10 y 10-11) de la parcela Orogrande A tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol).

Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Constante	72.4549	53.2158	<0.0001
D*(08-09)	0.00100648	2.38402	0.0198
D*(09-10)	0.00168277	3.98593	0.0002

(*) El modelo de regresión es significativo ($F=8.73$; $g.l.=2, 72$; $p=0.0004$). $R^2=19.9627\%$ y R^2 ajustado= 7.676% .

Tabla R4.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) en la campaña 09-10 tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol).

Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Constante	2.62522	1.73351	0.0856
D	0.00140922	4.81671	<0.0001
Fortune	16.9904	6.96596	<0.0001
D*(Navel Lane Late)	0.00875891	16.4031	<0.0001
D*(Orogrande B)	0.00397578	8.46068	<0.0001

(*) El modelo de regresión es significativo ($F=100.26$; $g.l.=4, 124$; $p<0.0001$). $R^2=76.9685\%$ y R^2 ajustado= 76.20008%.

Anejo de tablas A, Resultados Regresión

Tabla R5.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) en la campaña 10-11 tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol).

Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Constante	0.441941	0.191735	0.8485
D	0.00151767	3.18511	0.0022
Navel Lane Late	10.371	2.58927	0.0117
D*(Navel Lane Late)	0.00208482	2.26827	0.0264

(*) El modelo de regresión es significativo ($F=28.03$; $g.l.=3, 74$; $p<0.0001$). $R^2=54.2187\%$ y R^2 ajustado= 52.2843% .

Tabla R6.- Resultados del análisis de regresión para el porcentaje de fruta derribada sin cáliz (%) en las tres campañas ensayadas (08-09, 09-10 y 10-11) de la parcela Orogrande 1 tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol).

Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Constante	0.612295	0.42519	0.6720
D	0.0014067	4.72532	<0.0001
08-09	6.16319	2.36459	0.0208
D*(08-09)	0.00136796	2.57485	0.0121

(*) El modelo de regresión es significativo ($F=43.60$; $g.l.=3, 73$; $p<0.0001$). $R^2=65.1393\%$ y R^2 ajustado= 63.6453% .

Tabla R7.- Resultados del análisis de regresión para la defoliación producida (kg hojas/árbol) en todas las parcelas y años de ensayo tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol).

Análisis de regresión	Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
3 años de ensayos en Orogrande 1 ($F=29.26$; $g.l.=1, 73$; $p<0.0001$). $R^2=28.8953\%$. y R^2 ajustado= 27.9078%	Constante	1.24241	9.85654	<0.0001
	D	0.000140006	5.40917	<0.0001
2 años de ensayos en Orogrande 2 ($F=40.15$; $g.l.=2, 49$; $p<0.0001$). $R^2=63.0818\%$.	Constante	2.08975	13.4271	<0.0001
	D	0.000152991	5.48356	<0.0001
	10-11	-1.0988	-7.08795	<0.0001
2 años de ensayos en Marisol ($F=45.31$; $g.l.=2, 49$; $p<0.0001$). $R^2=65.8479\%$.	Constante	0.939178	10.7673	<0.0001
	D	0.000125258	8.01077	<0.0001
	10-11	-0.4468	-5.14266	<0.0001
2 años de ensayos en Navel Lane Late ($F=61.31$; $g.l.=2, 49$; $p<0.0001$). $R^2=72.29\%$.	Constante	2.12099	7.35142	<0.0001
	D	0.000641231	10.669	<0.0001
	10-11	-0.8488	-2.96452	0.0047
Un ensayo en Clemenules ($F=60.52$; $g.l.=1, 24$; $p<0.0001$). $R^2=72.46\%$.	Constante	2.07283	15.1521	<0.0001
	D	0.000193238	7.77925	<0.0001
Un ensayo en Fortune ($F=141.28$; $g.l.=1, 24$; $p<0.0001$). $R^2=85.99\%$.	Constante	0.264973	6.33043	<0.0001
	D	0.0000357614	11.8862	<0.0001

Anejo de tablas A, Resultados Regresión

Tabla R8.- Resultados de los análisis de regresión para la FRF(N) en todas las parcelas y campañas de ensayo tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p > 0.05$.

Análisis de regresión	Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Orogrande 1 (08-09, 09-10 y 10-11) (F=4.79; g.l.=2, 74; p=0.0112) R ² =11.7366% R ² ajustado=9.28481	Constante	67.4294	26.4432	<0.0001
	08-09	-8.2756	-2.29483	0.0247
	10-11	-10.6198	-2.94486	0.0043
Orogrande 2, (09-10 y 10-11) (F=14.17; g.l.= 3, 49; p<0.0001) R ² =48.0361% R ² ajustado=44.6472%	Constante	72.5417	23.5424	<0.0001
	D	-0.00209492	-3.28881	0.0019
	10-11	-22.3139	-5.12063	<0.0001
	D*(10-11)	0.00207619	2.30475	0.0257
2 Marisol (09-10 y 10-11) (F=7.26; g.l.=3, 48; p=0.0005) R ² =32.6011% R ² ajustado=28.1078%	Constante	43.8993	16.9512	<0.0001
	D	-0.00206113	-3.68475	0.0006
	10-11	-7.74404	-2.12751	0.0389
	D*(10-11)	0.00312777	4.06346	0.0002
Navel Lane Late (09-10 y 10-11) (F=15.50; g.l.=2, 47; p<0.0001) R ² =40.7948% R ² ajustado=38.1635%	Constante	128.604	27.2706	<0.0001
	D	-0.00720267	-5.56518	<0.0001
	D*(10-11)	0.00291687	2.12274	0.0393
Clemenules (09-10) (F=0.70; g.l.=1, 23; p=0.4117)*				
Fortune (09-10) (F=0.01; g.l.=1, 24; p=0.9316)*				

Tabla R9.- Resultados de los análisis de regresión para el ICC en todas las parcelas y campañas de ensayo tras y antes de la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p > 0.05$.

Análisis de regresión	Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Para el ICC tras la aplicación de etefón en Orogrande 1, en las campañas 08-09, 09-10 y 10-11 (F=10.33; g.l.=4, 74; $p < 0.0001$) R ² =37.1158% R ² ajustado=33.5224%	Constante	-5.49328	-6.960039	<0.0001
	D	0.000681636	4.81796	<0.0001
	08-09	6.04085	4.83715	<0.0001
	D*(08-09)	-0.000681225	-2.77998	0.0070
	10-11	1.5848	2.01601	0.0476
Para el ICC tras la aplicación de etefón en Orogrande 2, en las campañas 09-10 y 10-11 (F=10.37; g.l.=2, 46; $p = 0.0002$) R ² =32.0453% R ² ajustado=28.9564%	Constante	-0.830491	-1.07486	0.2883
	D	0.000666486	3.55745	0.0009
	D*(10-11)	-0.000756894	-4.28542	0.0001
Para el ICC tras la aplicación de etefón en Marisol, en las campañas 09-10 y 10-11 (F= 33.72; g.l.=2, 49; $p < 0.0001$) R ² =58.929% R ² ajustado=57.1813%	Constante	-8.03374	-7.93031	<0.0001
	D	0.00102812	5.6614	<0.0001
	10-11	-6.00233	-5.9485	<0.0001
Para el ICC tras la aplicación de etefón en Navel Lane Late, en las campañas 09-10 y 10-11 (F=122.62; g.l.=2, 47; $p < 0.0001$) R ² =84.4958% R ² ajustado=83.8067%	Constante	12.7615	35.7588	<0.0001
	D	-0.000192713	-2.55822	0.0140
	10-11	-5.54508	-15.5326	<0.0001
Para el ICC tras la aplicación de etefón en Clemenules, en la campaña 09-10 (F=2.94; g.l.=1, 24; $p = 0.0999$)*				
Para el ICC tras la aplicación de etefón en Fortune, en la campaña 09-10 (F=0.41; g.l.=1, 24; $p = 0.5267$)*				

Anejo de tablas A, Resultados Regresión

Para el ICC antes de tratar en Orogrande 1 en la campaña 09-10 (F=0.58; g.l.=1,24; p=0.4523)
Para el ICC antes de tratar en Orogrande 1 en la campaña 10-11 (F=1.69; g.l.=1,22; p=0.2071)
Para el ICC antes de tratar en Orogrande 2 en la campaña 10-11 en (F=0.93; g.l.=1,23; p=0.3460)
Para el ICC antes de tratar en Marisol en la campaña 10-11 (=1.69; g.l.=1,22; p=0.2071)
Para el ICC antes de tratar Navel Lane Late en la campaña 10-11 (F=0.93; g.l.=1,23; p=0.3460)

Tabla R10.- Resultados de los análisis de regresión para el porcentaje de deformación de la corteza (%) en todas las parcelas y campañas de ensayo tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p > 0.05$.

Análisis de regresión	Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Orogrande 1 (08-09 y 09-10) (F=91.02; g.l.=1, 149; $p < 0.0001$) $R^2 = 65.4735\%$ R^2 ajustado=64.7542%.	Constante	3.04196	35.0632	<0.0001
	08-09	1.17056	9.54063	<0.0001
Orogrande 2 (09-10) (F=5.41 g.l.=1, 24; $p = 0.0293$)	Constante	3.36351	23.0861	<0.0001
	Pendiente	0.0000700224	2.32488	0.0293
Marisol (09-10) (F=1.97; g.l.=1, 24; $p = 0.1737$)				
Navel Lane Late (09-10) (F=0.64; g.l.=1, 24; $p = 0.4329$)				
Clemenules (09-10) (F=8.22; g.l.=1, 23; $p = 0.0090$)	Constante	3.61782	49.4647	<0.0001
	Pendiente	0.0000372957	2.86621	0.0090
Fortune (09-10) (F=1.20; g.l.=1, 23; $p = 0.2849$)				

Anejo de tablas A, Resultados Regresión

Tabla R11.- Resultados de los análisis de regresión para el IM en todas las parcelas y campañas de ensayo tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p > 0.05$.

Análisis de regresión	Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
Para el IM tras la aplicación de etefón en Orogrande 1 en las campañas 08-09 y 09-10 F=1.30; g.l.=1, 48; p=0.2599				
Para el IM tras la aplicación de etefón en Marisol en la campaña 09-10 F=0.35; g.l.=1, 48; p=0.5595				
Para el IM tras la aplicación de etefón en Navel Lane Late en la campaña 09-10 F=0.08; g.l.=1, 48; p=0.7741				
Para el IM tras la aplicación de etefón Clemenules en la campaña 09-10 F=0.06; g.l.=1, 24; p=0.8142				
Para el IM tras la aplicación de etefón Fortune en la campaña 09-10 F=2.06; g.l.=1, 24; p=0.1644				

Tabla R12.- Resultados de los análisis de regresión para el porcentaje de fruta con manchas (%) en las parcelas y campañas de ensayo en las que se contabilizaron tras la aplicación de etefón (*). D: Dosis (mg/árbol). (*) Los coeficientes de regresión no se muestran cuando el $p > 0.05$.

Análisis de regresión	Parámetro	Coefficiente de regresión	Estadístico T	p-valor
	Constante	2.94384	1.49175	0.1424
Orogrande 1 (09-10 y 10-11) F=42.00; g.l.=2, 49; $p < 0.0001$	D	0.00419514	8.91734	<0.0001
	D*(10-11)	-0.00122051	-2.60463	0.0123
Orogrande 2 (09-10 y 10-11) F=33.37; g.l.=2, 47; $p < 0.0001$	D	0.00391023	5.93431	<0.0001
	D*(10-11)	-21.2834	-5.71913	<0.0001
Marisol (10-11) F=3.64; g.l.=1, 24; $p = 0.0688$				
Clemenules (09-10)	Constante	4.2383	1.1027	0.2816
F=36.33; g.l.=1, 24; $p < 0.0001$	Pendiente	0.00420684	6.02778	<0.0001

Tabla R13.- Significación de la regresión lineal para la producción (kg/árbol) como función de la dosis de etefón (mg/L) en árboles recolectados mecánicamente en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en la primera campaña de ensayos. Producción (Media±ES) obtenida por cada dosis en cada parcela.

Parcela	Campaña	Significación del modelo*	Producción (kg/árbol)				
			NTMH	ET1MH	ET2MH	ET3MH	ET4MH
Orogrande 1	08-09	F=0.41; g.l.=1,23; $p=0.5304$	65.86±3.53	65.70±9.97	59.96±4.55	62.97±4.83	61.42±4.06
Orogrande 2	09-10	F=0.51; g.l.=1,24; $p=0.4812$	56.19±5.91	43.49±6.91	55.68±5.78	47.74±4.35	47.89±3.09
Marisol	09-10	F=0.56; g.l.=1,24; $p=0.4622$	64.90±17.20	72.27±12.85	58.46±5.62	51.18±13.65	58.26±7.47
Clemenules	09-10	F=0.80; g.l.=1,24; $p=0.3809$	37.75±8.43	26.04±6.42	23.53±3.46	33.50±4.59	43.54±7.33
Fortune	09-10	F=0.05; g.l.=1,24; $p=0.8310$	33.70±11.05	43.50±7.86	41.89±7.76	50.55±11.52	35.27±6.71
Navel Lane Late	09-10	F=0.03; g.l.=1,24; $p=0.8561$	61.69±5.49	68.75±5.86	56.54±8.66	67.04±6.34	61.53±8.03

*F= F-ratio, g.l.= grados de libertad, $p= p$ -valor. Cuando el p -valor>0.05, no hay relación lineal significativa entre la producción (en el primer año de aplicación) y la dosis de etefón.

Tabla R14.- Resultados obtenidos de los análisis de Regresión Lineal Múltiple (RLM): significación del modelo y coeficientes de regresión para producción (kg/árbol).

Parcela	Campaña	Significación del modelo*	Coeficientes de regresión			
			Parámetro	Estimación	T-estadístico	p-valor
Orogrande 1	09-10	F=10.02; g.l.=1,48; p=0.0027	Constante	52.65	12.96	<0.0001
			Dosis	-0.0026	-3.17	0.0027
	10-11	F=0.49; g.l.=1,48; p=0.4869	-	-	-	-
Orogrande 2	10-11	F=0.43; g.l.=1,48; p=0.5153	-	-	-	-
	11-12	F=6.70; g.l.=1,48; p=0.0127	Constante	62.76	21.70	<0.0001
			Dosis*(Técnica de recolección=Recolección mecanizada) ¹	-0.0022	-2.59	0.0127
Marisol	10-11	F=1.88; g.l.=1,49; p=0.1767	-	-	-	-
Navel Lane Late	10-11	F=32.01; g.l.=0,49; p<0.0001	Constante	103.39	16.19	<0.0001
			Dosis	-0.0221	-7.09	<0.0001
			Dosis	0.0000013	3.46	0.0012
			(Técnica de recolección=Recolección mecanizada) ¹	-27.56	-3.42	0.0013
			Dosis*(Técnica de recolección=Recolección mecanizada) ¹	0.0051	2.65	0.0111

¹(Técnica de recolección=Recolección mecanizada) = 1 para los datos obtenidos con la recolección mecánica; 0, de otra manera (manualmente).

*F= F-ratio, g.l.= grados de libertad, p= p-valor. Cuando el p-valor>0.05, no hay relación lineal significativa entre la producción (en el año siguiente) y la dosis de etefón. En este caso, no se muestran los coeficientes de regresión.

Tabla R15.- Estimación y evaluación de las pérdidas de producción y económicas basadas en los coeficientes de regresión.

Parcela	Campaña	Tipo de pérdida	Dosis de etefón (mg/árbol)				
			0	2400	4200	4800	8400
Orogrande 1	09-10	Pérdida de producción (kg/ha) ¹	0	2496	4368	4992	8736
		Pérdida económica (€/ha) ²	0	686,4	1201,2	1372,8	2402,4
Orogrande 2 ³	11-12	Pérdida de producción (kg/ha) ¹	0	2112	3696	4224	7392
		Pérdida económica (€/ha) ²	0	580,8	1016,4	1161,6	2032,80
Navel Lane Late ⁴	10-11		0	2100	3600	4200	7200
		Pérdida de producción (kg/ha) ¹	11024	11986,8	17740,8	19387,2	22003,2
		Pérdida económica (€/ha) ²	2722,9	2960,7	4382	4788,6	5434,8

¹Para la estimación de la pérdida de producción se consideró que el número de árboles por hectárea fue 400.

²Para la estimación de la pérdida económica se consideró que el precio para consumo en fresco de Orogrande fue de 0,275 €/kg y para Navel Lane Late de 0,247 €/kg.

³Las pérdidas de producción y económica fueron debidas al etefón en los árboles que se recolectaron mecánicamente.

⁴Las pérdidas de producción y económica fueron debidas tanto por la aplicación de etefón como por la recolección con vibrador de troncos.

11.3.- ANEJO DE TABLAS B. RESULTADOS ANOVA.

Tabla A1.- Resultados de los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento sobre el potencial hídrico del tallo o de hoja embolsada (Ψ_{tallo} , MPa) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales. En las parcelas en las que no se observaron diferencias visuales, se indica como NDV (no diferencias visuales).

Parcela	Fecha	dda ¹	ddr ²	F	g.l.	p-valor	Ψ_{tallo} (MPa)			
							NTRM	NTRV	ET4RM	ET4RV
Orogrande1	13/11/2008	8	2	1.78	(3,19)	0.1912				
	4/8/2009	-	-	2.07	(3,19)	0.1453				
	3/11/2009	3	-	1.18	(3,17)	0.3524				
	3/11/2010	1	-	2.61	(3,19)	0.0872				
	18/11/2010	16	6	0.72	(3,19)	0.5533				
Orogrande 2	11/11/2009	11	0	1.77	(3,19)	0.1933				
	2/02/2010	-	-	1.98	(3,17)	0.1630				
Marisol	1/10/2009	6	-	3.42	(3,18)	0.0446	-0.98±0.03ab	-1.05±0.07b	-0.84±0.04a	-0.80±0.08a
	19/10/2009	25	17	9.30	(3,16)	0.0015	-1.59±0.11b	-1.16±0.15a	-1.79±0.03b	-1.84±0.05b
	9/11/2010	34	46	1.33	(3,19)	0.3003				
Clemenules	NDV	NDV	NDV	NDV	NDV	NDV				
Fortune	6/4/2010	6	-	4.12	(3,18)	0.0256	-0.95±0.03b	-0.88±0.03ab	-0.80±0.03a	-0.85±0.05a
	30/8/2010	-	-	5.12	(3,16)	0.0148	-1.56±0.07b	-1.39±0.02ab	-1.24±0.06a	-1.41±0.06ab
Navel Lane Late	16/3/2010	1	-	12.60	(3,17)	0.0004	-0.97±0.04b	-0.89±0.08b	-0.81±0.04b	-0.50±0.07a

*Medias ± ES seguidas de diferente letra en la misma fecha son diferentes significativamente a $p < 0.05$ para el test LSD. ¹dda = días después de la aplicación de etefón; ²ddr = días después de la recolección

Tabla A2.- Diferencias significativas* encontradas en los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento en conductancia estomática (g_s , $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales. En las parcelas en las que no se observaron diferencias visuales, se indica como NDV (no diferencias visuales).

Parcela	Fecha	dda ¹	ddr ²	F	g.l.	p-valor	g_s ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			
							NTRM	NTRV	ET4RM	ET4RV
Orogrande 1	3/11/2008	-	-	0.75	(3,19)	0.5359				
	9/3/2009	-	-	5.04	(3,19)	0.0120	0.02±0.00b	0.02±0.00b	0.04±0.00a	0.04±0.01a
	29/10/2009	-	-	0.98	(3,18)	0.4276				
Orogrande 2	NDV			NDV	NDV	NDV				
Marisol	19/10/2009	25	17	3.54	(3,17)	0.0427	0.10±0.01a	0.07±0.01ab	0.09±0.01a	0.06±0.01b
	20/10/2010	14	2	3.42	(3,18)	0.0447	0.16±0.02a	0.09±0.01b	0.10±0.23b	0.10±0.01b
	9/11/2010	33	21	0.43	(3,19)	0.7333				
Clemenules	17/11/2009	-	-	2.89	(3,18)	0.0704				
	25/11/2009	2	-	4.88	(3,18)	0.0145	0.03±0.00b	0.05±0.00a	0.03±0.01ab	0.04±0.00b
	7/12/2009	14	4	0.65	(3,14)	0.5978				
Fortune	1/4/2010	1	-	1.65	(3,19)	0.2174				
	16/3/2010	1	-	2.57	(3,19)	0.0902				
	17/3/2010	2	-	3.62	(3,18)	0.0380	0.07±0.01a	0.04±0.00b	0.04±0.01b	0.04±0.05b
Navel Lane Late	22/3/2010	7	-	0.16	(3,10)	0.9212				
	25/3/2010	10	2	6.74	(3,17)	0.048	0.06±0.01a	0.05±0.01a	0.02±0.00b	0.02±0.01b
	7/3/2011	-	-	1.85	(3,19)	0.1783				
	23/3/2011	1	-	8.13	(3,19)	0.0016	0.06±0.01a	0.08±0.01a	0.04±0.00b	0.04±0.01b

*Medias ± ES seguidas de diferente letra en la misma fecha son diferentes significativamente a $p < 0.05$ para el test LSD. ¹dda = días después de la aplicación de etefón; ²ddr = días después de la recolección

Anejo de tablas B, Resultados ANOVA

Tabla A3.- Diferencias significativas* encontradas en los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento en la fotosíntesis neta (A_{CO_2} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en las parcelas de Orogrande (1 y2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales.

Parcela	Fecha	dda ¹	ddr ²	F	g.l.	p-valor	A_{CO_2} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)			
							NTRM	NTRV	ET4RM	ET4RV
Orogrande 1	29/10/2009	-	-	1.41	(3,18)	0.2778				
	1/12/2009	30	19	4.09	(3,17)	0.0280	6.01±0.48ab	4.33±0.38c	6.45±0.89a	4.68±0.37bc
	27/10/2010	-	-	0.85	(3,19)	0.4871				
Orogrande 2	2/11/2009	2	-	1.89	(3,19)	0.1717				
	4/11/2009	4	-	2.56	(3,19)	0.0915				
	4/11/2010	2	-	4.85	(3,18)	0.0149	2.79±0.28ab	3.05±0.16a	3.54±0.36a	2.21±0.14b
	22/11/2010	20	10	3.44	(3,17)	0.0462	2.88±0.14a	2.25±0.23b	2.89±0.09a	2.66±0.385ab
Marisol	1/10/2009	7	-	3.66	(3,17)	0.0390	3.49±0.67b	6.16±0.74a	4.21±0.91ab	2.58±0.55b
	19/10/2009	25	17	2.22	(3,19)	0.1249				
	30/11/2009	66	58	0.54	(3,19)	0.6603				
	19/10/2010	13	1	3.79	(3,17)	0.0351	8.61±0.67a	6.43±0.46b	5.91±0.45b	6.43±0.70b
Clemenules	7/12/2009	14	4	3.04	(3,12)	0.0852				
Fortune	1/4/2010	1	-	2.39	(3,19)	0.1072				
	8/4/2010	8	1	2.75	(3,17)	0.0823				
Navel Lane Late	16/3/2010	1	-	7.50	(3,19)	0.0024	3.71±0.32a	2.21±0.29b	1.94±0.08b	2.60±0.36b
	17/3/2010	2	-	3.45	(3,19)	0.0417	3.71±0.32a	2.43±0.48b	2.20±0.32b	2.58±0.30b
	25/3/2010	10	2	5.28	(3,16)	0.0133	3.19±0.40a	2.44±0.46ab	1.60±0.31bc	0.69±0.26c
	7/3/2011	-	-	4.81	(3,19)	0.0142	3.12±0.30a	2.48±0.12ab	2.08±0.21b	2.07±0.24b
	23/3/2011	1	-	9.05	(3,19)	0.0010	4.21±0.37a	4.63±0.42a	2.57±0.18b	2.72±0.37b
	28/3/2011	6	-	4.92	(3,18)	0.0141	1.64±0.05c	2.72±0.26ab	2.81±0.34a	1.98±0.21bc

*Medias ± ES seguidas de diferente letra en la misma fecha son diferentes significativamente a $p < 0.05$ para el test LSD. ¹dda = días después de la aplicación de etefón; ²ddr = días después de la recolección

Tabla A4.- Diferencias significativas* encontradas en los ANOVA realizados para los estudios del efecto del tratamiento en la transpiración de la hoja (E_i , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en las parcelas de Orogrande (1 y 2), Marisol, Clemenules, Fortune y Navel Lane Late en las fechas en las que previamente se observaron diferencias visuales.

Parcela	Fecha	dda ¹	ddr ²	F	g.l.	p-valor	E_i ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)			
							NTRM	NTRV	ET4RM	ET4RV
Orogrande 1	29/10/2009	-	-	4.61	(3,17)	0.0191	1.29±0.08a	1.10±0.11ab	1.15±0.10a	0.86±0.07b
	2/11/2009	3	-	9.26	(3,17)	0.0013	1.32±0.09a	1.09±0.02b	0.85±0.04c	1.11±0.06b
	26/11/2009	27	15	0.94	(3,19)	0.4430				
	27/10/2010	-	-	0.92	(3,19)	0.4528				
	3/11/2010	1	-	2.18	(3,19)	0.1304				
Orogrande 2	29/10/2009	-	-	1.07	(3,17)	0.3949				
	2/11/2009	3	-	3.49	(3,16)	0.0470	1.53±0.20a	1.51±0.10a	1.05±0.14b	1.06±0.13b
	12/11/2009	13	1	7.73	(3,8)	0.0252	0.98±0.06b	0.97±0.05b	1.25±0.00a	0.78±0.02c
	26/10/2010	-	-	4.44	(3,17)	0.0216	1.29±0.12b	1.64±0.11a	1.27±0.13b	1.11±0.01b
	4/11/2010	2	-	5.67	(3,17)	0.0093	1.59±0.17a	1.39±0.09a	1.51±0.14a	0.92±0.09b
Marisol	16/9/2009	-	-	3.04	(3,17)	0.0643				
	19/10/2009	25	17	6.10	(3,18)	0.0064	1.84±0.10a	1.38±0.16bc	1.60±0.10ab	1.19±0.08c
Clemenules	7/12/2009	14	4	2.22	(3,14)	0.1429				
Fortune	29/3/2010	-	-	0.84	(3,19)	0.4932				
	1/4/2010	1	-	2.34	(3,19)	0.1120				
	6/4/2010	6	-	0.64	(3,19)	0.5986				
Navel Lane Late	25/3/2010	10	2	5.36	(3,17)	0.0114	1.61±0.08a	1.07±0.13a	0.51±0.10b	0.61±0.27b
	7/3/2011	-	-	1.85	(3,19)	0.1733				
	28/3/2011	6	-	4.09	(3,19)	0.0248	0.74±0.08b	1.08±0.06ab	1.26±0.20a	0.70±0.15b
	31/3/2011	9	1	2.55	(3,17)	0.0973				

*Medias ± ES seguidas de diferente letra en la misma fecha son diferentes significativamente a $p < 0.05$ para el test LSD. ¹dda = días después de la aplicación de etefón; ²ddr = días después de la recolección

