

# Efectos del vibrado del pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en el vigor de los árboles: densidad de copa, crecimiento de guías y parásitos de debilidad

P. Martínez-Zurimendi<sup>1\*</sup>, J. M. Álvarez<sup>1</sup>, V. Pando<sup>2</sup>, M. Domínguez<sup>3</sup>, J. Gordo<sup>3</sup>,  
L. Finat<sup>4</sup> y R. Sierra-de-Grado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Valladolid. ETSIA. Dpto. Prod. Veg. y Recursos Forestales. Avda. Madrid 44, 34071 Palencia. España.

<sup>2</sup> Universidad de Valladolid. ETSIA. Dpto. Estadística e Investigación Operativa. Avda. Madrid 67, 34071 Palencia. España.

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, México. C.P. 86500 A.P. 24, H. Cárdenas, Tabasco, México.

<sup>4</sup> Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid, Junta de Castilla y León.

Duque de la Victoria 5, 47071 Valladolid. España.

---

## Resumen

En el Noroeste de España es cada vez más frecuente la recolección mecanizada de piña. Para cuantificar los efectos del vibrado sobre el vigor de los árboles se instalaron en montes de páramo y de campiña parcelas donde se realizó cosecha mecanizada y manual en arbolado adulto y joven. Se midió el crecimiento de los brotes y se analizó la presencia y abundancia de tres insectos plaga sobre estos árboles, *Tomicus piniperda* y *Rhyacionia buoliana*, considerados parásitos de debilidad, así como *Thaumetopoea pityocampa*. La longitud media de los brotes fue superior en árboles cosechados manualmente. La diferencia es importante en árboles jóvenes (40-50 años) de campiñas y en árboles adultos (más de 80 años) de páramos. *Rhyacionia buoliana* fue más abundante en árboles adultos que en arbolado joven, pero no se vio relación de su abundancia con el método de cosecha. *Tomicus piniperda* fue escaso y sólo se detectó en rodales cosechados mecanizadamente. *Thaumetopoea pityocampa* es más frecuente en rodales cosechados manualmente, y en rodales jóvenes lo que indica que selecciona los árboles de crecimiento más vigoroso para alimentarse. Los porcentajes de defoliación fueron bajos en todas las parcelas.

**Palabras clave:** recolección mecanizada, piñas, España, *Thaumetopoea pityocampa*, *Tomicus piniperda*, *Rhyacionia buoliana*.

## Abstract

**Effects of vibration on stone pine trees (*Pinus pinea* L.) on the vigor of the trees: crown density, growth shoots and parasites of weak trees.**

In the northwest of Spain the mechanized harvesting of pine cones is more and more frequent. In order to quantify the effects of vibration on the vigor of the trees, parcels of stone pine were planted in plateau and countryside. Both the mechanized and manual harvests were analyzed in adult and young trees. The growth of the tree shoots was measured. The presence and abundance of three insect plagues was analyzed in those same trees: *Tomicus piniperda*, *Rhyacionia buoliana* and *Thaumetopoea pityocampa*. The average shoot length of those trees manually harvested was superior to that of those mechanically harvested. The difference was very significant in young trees (40-50 years old) in the countryside and in adult trees (more than 80 years) on the plateau. *Rhyacionia buoliana* was more abundant in adult trees than young trees, but the relation of its abundance with the harvest method was not seen. The presence of *Tomicus piniperda* was rare and was only detected in mechanically harvested stands. *Thaumetopoea pityocampa* was more frequent in trees harvested by hand than those harvested mechanically and was more abundant in young stands. The percentage tree of defoliation was low in all stands independent of harvest method.

**Key words:** mechanical harvesting, pine cone, Spain, *Tomicus piniperda*, *Rhyacionia buoliana*, *Thaumetopoea pityocampa*.

---

\* Corresponding author: [mzurimen@pvs.uva.es](mailto:mzurimen@pvs.uva.es)

Received: 07-10-08. Accepted: 09-03-09.

## Introducción

El aprovechamiento de las piñas del pino piñonero (*Pinus pinea* L.) se realiza desde tiempo inmemorial en España. Según datos provisionales del Tercer Inventario Forestal Nacional, en la península Ibérica el piñonero ocupa 452.195 ha, formando masas importantes en la Meseta Norte (54.083 ha en la provincia de Valladolid). En estos montes el piñón proporciona en la actualidad el principal ingreso, complementado con la madera. La forma de recolectar las piñas ha permanecido invariable hasta fechas recientes: los piñeros subían a la copa con una escalera y bajaban las piñas con una larga vara de madera. Trabajaban usualmente sin protección (Hertero, 2000). En Castilla y León la peligrosidad del trabajo de recolección, la dificultad de encontrar recolectores experimentados y el coste cada vez mayor de contratarlos ha provocado desde la campaña 2000/2001 la paulatina y constante incorporación de máquinas vibradoras a la cosecha (Barranco y Ortuño 2004, Ovando *et al.*, 2008). En la campaña 2007-2008 más de 40 máquinas han trabajado en la provincia de Valladolid. En Italia se realiza la recolección mecanizada desde hace más de treinta años y se lleva a cabo en el 60-70% de las 20.000 ha de pinares de ese país (Bonari *et al.*, 1980), excepto en algunos parques naturales. La expansión de la recogida mecanizada es rápida también en Portugal (Pinheiro *et al.*, 2003).

La Administración Forestal (Junta de Castilla y León) ha manifestado desde el comienzo de estas actividades una preocupación por el impacto de las máquinas vibradoras tanto en los árboles como en el suelo, en el regenerado natural y en la vegetación acompañante, siendo el presente trabajo parte de los estudios auspiciados por dicha Administración en este ámbito. Como ejemplo de las medidas tomadas a partir de los estudios sobre recogida mecanizada (Pérez *et al.*, 2001; Martínez-Zurimendi *et al.*, 2003, 2006; Martínez-Zurimendi y Sierra-de-Grado, 2006), se pueden citar la limitación del peso de las máquinas a 4 t por eje y del tiempo de vibración a tres segundos por árbol, además de prohibir la vibración en condiciones de helada.

Hace más de dos siglos Knight (1806) describió el efecto de las perturbaciones mecánicas sobre los árboles: el crecimiento diamétrico se incrementaba y el crecimiento en altura se reducía en los manzanos por efecto del viento; Jaffe (1973; 1984) denominó a este proceso “thigmomorphogenesis” y elaboró la teoría que se usa actualmente para describir la respuesta de las plantas a las perturbaciones mecánicas de múltiples ori-

genes (Telewski, 2006), y los mecanismos implicados (Leblanc-Fournier *et al.*, 2008).

El efecto del vibrado mecánico para recolección de frutos sobre los árboles ha sido muy estudiado, especialmente en olivos y en muchos árboles frutales, analizando fundamentalmente efectos mecánicos sobre los frutos, las ramas y el tronco y sobre las cosechas siguientes (Humanes y Herruzo, 1977; Barasona-Mata *et al.*, 1999; Gil-Ribes y López-Giménez, 2008; León *et al.*, 2005 entre muchos otros) y prestando menor atención al efecto de la recolección mecanizada de frutos sobre el crecimiento de los árboles o su vigor. Esto se explica porque en los árboles frutales, que son los que más frecuentemente se vibran, el vigor debe limitarse usando cultivares o portainjertos de crecimiento moderado, para sistematizar el diseño de la plantación y las técnicas de recolección y no tiene la misma importancia que en árboles forestales.

Hay pocos estudios sobre el impacto del vibrado en pinos (McLemore y Chappel, 1973). En los piñoneros Peruzzi *et al.* (1989a; 1989b) encuentran muy poca diferencia en cuanto a producción de piñas y piñones, crecimiento en volumen de madera y estabilidad de las plantas entre cosecha manual y mecanizada. Conforme pasan los años los árboles vibrados anualmente desarrollan menos altura y crecen más en diámetro que los cosechados a mano. No hay diferencias en la producción de piñón.

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) presenta una copa elipsoidal, de ramificación verticilada con ramas gruesas siempre ascendentes que se desarrollan casi hasta la altura de la guía terminal. Mutke (2005) encontró sólo dos tipos diferenciados de ramillas: los brotes largos de crecimiento ortotrópico y con 2-5 yemas laterales y las ramillas sin ramificar que presentan únicamente un brote lateral. La longitud de los brotes apicales depende del vigor de la rama en que se han formado, representado por la longitud del crecimiento del año anterior y por el número de piñas formados en esa misma rama tres años antes (Mutke *et al.*, 2005b) El crecimiento de los brotes en España comienza a mediados de abril y se detiene a mediados de junio (Mutke *et al.*, 2003). Si el verano es muy húmedo puede darse rara vez un segundo crecimiento. Las variables meteorológicas que explican la variación interanual de sus cosechas son la precipitación y la temperatura en determinados momentos de su ciclo (Gordo, 2004; Mutke *et al.*, 2005a; Calama *et al.*, 2008).

Una cuestión que queda por resolver es si el vibrado afecta al vigor de los árboles, comprometiendo de esta

forma no sólo las cosechas futuras, sino también la propia salud y persistencia de los árboles. El vigor de los árboles está directamente relacionado con el crecimiento de sus brotes. La frondosidad de las copas es también un síntoma de vigor y buenas condiciones fitosanitarias, empleándose la defoliación como un indicador de salud por la Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Montoya y López-Arias, 1997).

La densidad de población de los parásitos indicadores de debilidad da una medida indirecta del vigor de los árboles, más sensible pero más difícil de interpretar. Como indicadores de vigor se han seleccionado tres insectos que afectan al piñonero: *Thaumetopoea pityocampa*, de bolsones muy aparentes, peligroso defoliador que afecta a la salud de los pinos y dificulta las tareas de recolección de piña; *Rhyacionia buoliana*, y *Tomicus piniperda* que tradicionalmente se han considerado parásitos de debilidad (Romanyk y Cadahía, 2001).

*Tomicus piniperda* L. (Col. Scolitidae) es especie secundaria sobre *Pinus pinea*, con marcada preferencia por los árboles muertos o debilitados. Solamente en altas densidades puede llegar a colonizar árboles sanos. Las hembras reproductoras detectan eficazmente árboles debilitados donde su prole pueda desarrollarse. Los adultos inmaduros se alimentan de brotes haciendo un orificio de entrada y ascendiendo por el eje; ya en esta fase tienen una gran capacidad para seleccionar los pinos hospedantes por los terpenos que emiten, y seleccionan árboles debilitados para su alimentación estival (Romanyk y Cadahía, 2001).

La polilla del brote del pino *Rhyacionia buoliana* Schiff. (Lep. Tortricidae) es perforadora de yemas y brotes. Puede formar plaga en localidades de zonas pobres y estrés hídrico y se considera que daña principalmente a los pinos en sus fases juveniles. Se ha considerado parásito de debilidad, porque sus ataques comprometen la supervivencia de las plantas en repoblaciones realizadas lejos del óptimo; en buenas calidades de estación los árboles jóvenes atacados prosperan a pesar de la plaga que, a lo sumo, puede retrasar su crecimiento (Robredo, 1975 y 1978; Romanyk y Cadahía, 2001). La larva pasa el invierno en una yema y produce una resinosis que la delata, dañando la guía terminal y produciendo bifurcaciones. Ataques muy intensos darán lugar a portes achaparrados. En el piñonero, el brote afectado no produce piñas (Romanyk y Cadahía, 2001).

La procesionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff (Lep. *Thaumetopoeidae*) forma en su

fase larvaria colonias que se alimentan de las acículas próximas y cambian de rama en busca de alimento estableciendo el bolsón de invierno en las zonas más cálidas del árbol. Posee dardos urticantes desde el tercer estadio. Produce defoliación del arbolado, aunque el piñonero es de los pinos menos afectados en España.

El objetivo del estudio es evaluar el efecto de la recogida mecanizada de piñas de *Pinus pinea* y de la época de vibrado sobre el vigor de los árboles, comparando el crecimiento de las guías y brotes principales, la densidad del follaje y la presencia de parásitos de debilidad en árboles vibrados en diferentes épocas respecto a árboles cuyo aprovechamiento fue manual.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio

Se trabajó en bosques de *Pinus pinea* con pequeños rodales de *Pinus pinaster* Ait., situados en la comarca de “Tierra de Pinares”, en la Submeseta Norte de la Península Ibérica. En la comarca encontramos fundamentalmente pinares en páramos y laderas, y en las campiñas arenosas. La zona de páramo es más alta, con un desnivel de 100 m respecto a la campiña, presenta afloramientos rocosos y la vegetación acompañante incluye quejigo (*Quercus faginea* Lam.), encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota*), sabinas (*Juniperus thurifera* L.) y enebros (*Juniperus communis* Lam.). En zona de campiña el suelo es arenoso muy pobre. La vegetación acompañante es escasa en densidad y en variedad destacando el pino negral (*Pinus pinaster* Ait.). La ordenación de los montes hace compatible la protección de la zona con la producción de piñas y de madera. La productividad media anual de piñas varía entre 219 y 606 kg/ha en los montes analizados (Gordo, 2004) y la producción anual de madera es aproximadamente 1 m<sup>3</sup>/ha. Los montes objeto de análisis son representativos de la zona: “Llano de San Marugán” presenta un diámetro máximo de cortabilidad de más de 50 cm y un módulo de rotación de 25 años –coincidiendo con el tiempo de paso– para continuar su transformación a masa irregular. “Santibáñez” y “Villanueva” tienen un turno de 100 años y tramos cuya forma principal de masa propuesta en la ordenación del monte es la semiregular. Todos los montes reciben tratamientos similares para puesta en producción de fruto de piñonero: claras en zonas de mejora y poda del fuste hasta los cuatro metros.

## Diseño de los ensayos

Para realizar un estudio representativo del vibrado en los pinares de la provincia de Valladolid se decidió analizar el efecto de la zona ecológica, páramo y campiña; y de la edad del arbolado seleccionando árboles jóvenes de tamaño intermedio (40-50 años) y árboles de edad avanzada (80-90 años). En cada uno de los cuatro tramos que se usaron (páramo joven, páramo adulto, campiña joven y campiña adulto) se instalaron cinco parcelas de 5 ha aproximadamente: una parcela control "1" que se cosechó a mano, y cuatro parcelas que se cosecharon a máquina en diferentes fechas: "2" las dos primeras semanas de la temporada (11/11/2000 a 24/11/2000); "3" en el resto del periodo hábil para cosecha mecanizada autorizado ese año (25/11/2000 a 28/02/2001); "4" en el mes siguiente (03/2001); "5" dos meses más tarde (04/2001). En cada parcela se señalaron cuatro subparcelas, circulares de 15 m de radio, (en las parcelas "5" se instalaron de dos a cuatro subparcelas) que contenían seis o más árboles que se identificaron de forma permanente (663 árboles en total) y se midió su diámetro, altura total y altura de la base de la copa y dos diámetros cruzados de anchura de copa. La superficie de las parcelas se eligió para que la máquina trabajara a ritmo normal durante una jornada. Las mediciones de los árboles y de los efectos del vibrado sobre ellos se realizaron en todos los árboles situados en las subparcelas, que se marcaron permanentemente. Se ensayaron diferentes fechas de vibración para ampliar en lo posible el periodo hábil, sabiendo que los árboles vibrados en periodo vegetativo pueden resultar seriamente dañados. La composición diamétrica y las características dasométricas de las parcelas se resumen en la Figura 1 y en la Tabla 1.

## Realización del aprovechamiento

En la campaña 2000-2001, el periodo hábil de cosecha con máquina fue el comprendido entre el 11 de noviembre de 2000 y el 28 de febrero de 2001 y se evitó vibrar en presencia de heladas, lluvia o vientos. La recolección mecanizada se llevó a cabo con máquina de 11.900 kg y potencia máxima de 132,4 kW, la pinza vibradora tenía 1.300 mm de apertura máxima. Las parcelas control las recolectaron a mano los hermanos Romera, trabajadores experimentados.

En la campaña 2001-2002 la recogida se hizo en periodo hábil con una máquina de 8300 kg y 88,3 kW de potencia máxima, con pinza de 800 mm de apertura máxima en las parcelas mecanizadas, y de manera manual en las parcelas control. El crecimiento de los ramillos, y las perforaciones de *Rhyacionia* y de *Tomiscus* se habían producido antes del comienzo de la segunda campaña pero es posible que la vibración haya influido en la procesionaria y su alimentación.

## Mediciones realizadas

Del 16 al 25 de abril de 2002 se midió el crecimiento de los brotes (exclusivamente los crecimientos del año 2001) y la presencia de parásitos en todos los árboles de las subparcelas circulares desde una plataforma elevadora, con brazo extensible hasta 16 m y cesta capaz de soportar 270 kg de peso. El conductor estacionaba la máquina y situaba la cesta sobre la cima de la copa de cada árbol señalado. Dos personas medían el crecimiento de los 6 brotes más centrados en la copa, utilizando regla graduada en cm acoplada a una pértiga, así como el

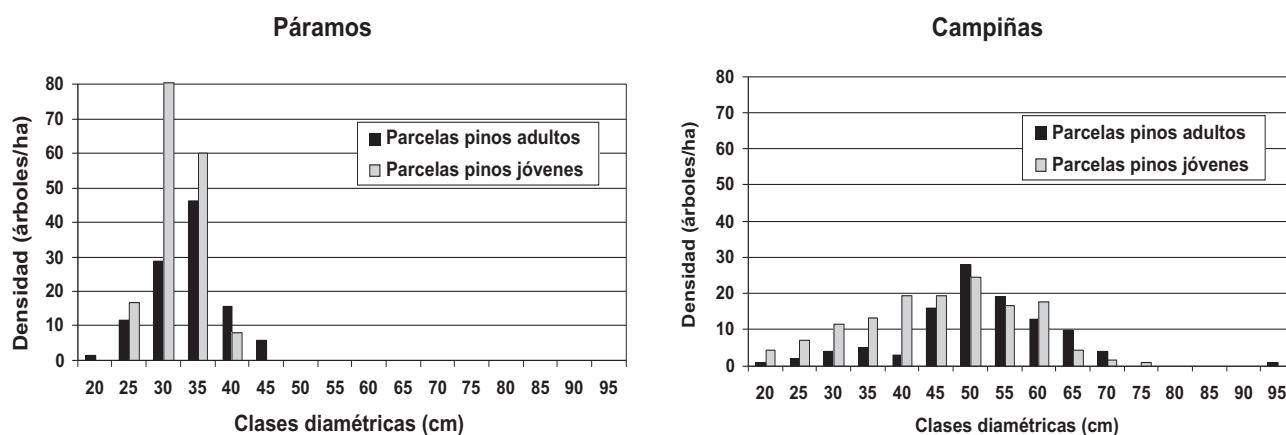


Figura 1. Distribución diamétrica de los montes.

**Tabla 1.** Características dasométricas de los montes de *Pinus pinea* estudiados

Monte Zona, edad	Edad (años)	Altura media (m)	Altura dominante (m)	Diámetro medio (cm)	D. medio cuadrático (cm)	Densidad de la masa (árb./ha)	Área basimétrica (árb./ha)
Llano de San Marugán, Tramo I Páramo, joven	50	5,9	6,2	31,9	32,0	165,3	13,3
Llano de San Marugán Tramo V Páramo, adulto	80	6,7	6,8	33,7	34,0	110,2	10,0
Villanueva Campaña, joven	40	10,5	11,2	45,5	47,0	141,5	24,5
Santibáñez Campaña, adulto	80	11,7	12,3	52,5	52,6	93,7	20,4

estado sanitario eligiendo 25 brotes y ramillas adicionales anotando sanas o afectadas, especie causante del daño y presencia o ausencia de bolsones de procesionaria en el árbol. Algunos árboles se analizaron con gran dificultad debido a su altura y a su disposición en la masa.

Para apreciar la defoliación se fotografió cada pino de las subparcelas, desde el suelo, a distancia igual o mayor a la altura del árbol, de espaldas al sol, usando cámara fotográfica digital, del 21 al 26 de Marzo de 2002, antes de que comenzara el crecimiento primaveral. Si la copa del árbol padecía competencia, se evaluaba solo la porción de copa no afectada, desde la tercera rama inferior viva. Se comparó la fotografía digital de cada árbol con la clave "Guía para la evaluación de copas" (Ferretti, 1994) asignándose los valores 5, 15, 30, 55 o 65% de defoliación. Muy pocos árboles tenían defoliación superior al 15% (sólo 7 de los 673) y se recodificó la variable utilizando dos niveles de defoliación: 5% y mayor o igual a 15%.

## Métodos

Para el análisis estadístico de la longitud del brote se ha utilizado un modelo lineal mixto de análisis de la covarianza con la siguiente formulación:

$$Y_{ijklm} = \mu + \sum_{n=1}^3 b_n (X_n)_{ijklm} + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \delta_{l(ijk)} + \varepsilon_{m(ijkl)}$$

siendo:

$Y_{ijklm}$  = Longitud del brote del árbol  $m$  de la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$

$\mu$  = Efecto de media general

$(X_1)_{ijklm}$  = Volumen de copa del árbol  $m$  de la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$

$(X_2)_{ijklm}$  = Diámetro normal del árbol  $m$  de la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$

$(X_3)_{ijklm}$  = Altura total del árbol  $m$  de la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$

$b_1$  = Efecto lineal del volumen de copa sobre la longitud del brote

$b_2$  = Efecto lineal del diámetro normal sobre la longitud del brote

$b_3$  = Efecto lineal de la altura total sobre la longitud del brote

$\alpha_i$  = Efecto de la zona  $i$  ( $i=1,2$ ; 1=páramo, 2=campaña)

$\beta_j$  = Efecto de la edad  $j$  ( $j=1,2$ ; 1=adulto, 2=joven)

$\alpha\beta_{ij}$  = Efecto de interacción de la zona  $i$  con la edad  $j$

$\gamma_k$  = Efecto del tratamiento  $k$  ( $k=1,\dots,5$ ; 1>manual, 2=vibrado en noviembre, 3=vibrado en diciembre-febrero, 4=vibrado en marzo, 5=vibrado en abril)

$\alpha\gamma_{ik}$  = Efecto de interacción del tratamiento  $k$  con la zona  $i$

$\beta\gamma_{jk}$  = Efecto de interacción del tratamiento  $k$  con la edad  $j$

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$  = Efecto de interacción triple del tratamiento  $k$  con la edad  $j$  y la zona  $i$

$\delta_{l(ijk)}$  = Efecto aleatorio de la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$  ( $l=1,\dots,l_{ijk}$ , siendo  $l_{ijk}$  el número de subparcelas de la parcela  $ijk$ ). Número total de subparcelas  $\sum_{i,j,k} l_{ijk} = 74$ .

$\varepsilon_{m(ijkl)}$  = Error aleatorio del árbol  $m$  de la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$  ( $m=1,\dots,m_{ijkl}$ , siendo  $m_{ijkl}$  el número de árboles vibrados en la subparcela  $l$  de la parcela  $ijk$ ). Número total de árboles  $\sum_{i,j,k,l} l_{ijk} = 74$ .

Se considera que  $\delta_{(ijk)} \rightarrow N(0, \sigma_{\delta ij}^2)$  y los errores  $\epsilon_{ijklm}$  son independientes e igualmente distribuidos con distribución  $N(0, \sigma_{\delta ij}^2)$ . Por tanto se ha supuesto que la varianza entre subparcelas puede ser distinta en cada monte y que las varianzas entre árboles dentro de las subparcelas pueden ser distintas en cada monte, y también para cada uno de los tratamientos ya que la aplicación de éstos puede generar una respuesta diferente en términos de varianza y no sólo en términos de media.

El modelo contiene, por tanto, 57 parámetros para el modelo de medias (23 parámetros independientes) y 24 parámetros para la estructura de varianzas (4 varianzas entre subparcelas, una para cada monte definido por cada combinación *ij*, y 20 varianzas entre árboles dentro de las subparcelas, una para cada parcela definida por cada combinación *ijk*).

Se utilizaron sumas de cuadrados secuenciales (tipo I) porque el propósito del análisis fue contrastar los posibles efectos del factor tratamiento después de eliminar la influencia que tienen el vigor del árbol (volumen de copa), el tamaño del árbol (diámetro y altura), la edad y la zona del monte sobre la longitud del brote. Todas las comparaciones entre tratamientos se hicieron mediante contrastes individuales diseñados específicamente para cada una de las comparaciones de interés. Para el ajuste y análisis de este modelo se utilizó el programa Statistical Analysis System (S.A.S.) versión 9.1. En los análisis de las plagas de debilidad y de la defoliación se utilizó el paquete estadístico Statistica 6.

Para analizar los efectos de los parásitos se evaluó la proporción de árboles afectados en cada zona, edad y tratamiento mediante el Test Chi-cuadrado. Para el análisis de la defoliación se utilizaron otra vez los árboles como unidades experimentales: se utilizó un Test Chi-

cuadrado para contrastar si existía asociación entre los niveles de defoliación y el tratamiento.

En todos los análisis, se consideró que existían diferencias altamente significativas cuando el p-valor era <0,01 y diferencias significativas cuando el p-valor era <0,05.

## Resultados

### 1. Análisis de longitud de brotes apicales

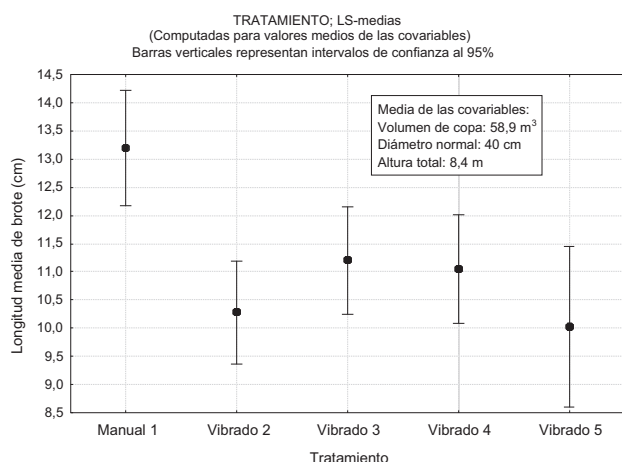
#### 1.1. Análisis conjunto de zonas y edades

La edad, la zona y el tratamiento de cosecha manual y mecanizado tienen efectos altamente significativos en la longitud del brote (Tabla 2). El diámetro, la altura y el volumen de copa, así como también la interacción doble zona\*tratamiento resultaron significativas. La interacción triple zona\*edad\*tratamiento también tiene efectos altamente significativos: el efecto del tratamiento sobre la longitud del brote depende de la edad del árbol y de la zona. La longitud de los brotes apicales se ve influida por los tratamientos de manera distinta en pinares jóvenes y adultos, en zonas de páramo y de campiña. Por tanto las posibles diferencias entre tratamientos deben analizarse también por separado para cada zona y edad.

Al comparar esa longitud en los diferentes tratamientos de cosecha para el promedio de todas las condiciones de zona y edad (Figura 2) destaca la longitud significativamente mayor de los brotes en árboles sometidos a cosecha manual de piña, frente a los tratamientos de cosecha mecanizada. La longitud media de los brotes apicales de pinos piñoneros cosechados manualmente

**Tabla 2.** Análisis de varianza de longitud de brotes apicales de *Pinus pinea* en diferentes edades, zonas y tratamientos de cosecha de piña. Resultado para los efectos fijos del modelo

Efecto	Num DF	Dem DF	F-Valor	Pr>F
Diámetro	1	585	7,34	0,0069
Altura	1	585	15,72	<0,0001
Copa	1	585	21,20	<0,0001
Zona	1	54	26,64	<0,0001
Edad	1	54	47,77	<0,0001
Tratamiento de cosecha	4	54	4,62	0,0028
Zona*Edad	1	54	3,32	0,0740
Zona*Tratamiento	4	54	3,37	0,0156
Edad*Tratamiento	4	54	1,93	0,1192
Zona*Edad*Tratamiento	4	54	7,09	0,0001



**Figura 2.** Longitud de brote apical en *Pinus pinea* por tratamiento: Manual 1: recolección manual de piñas; Vibrado: recolección mecanizada; Vibrado 2 en noviembre; Vibrado 3 en diciembre-febrero; Vibrado 4 en marzo; Vibrado 5 en abril.

fue 2,56 cm (entre 1,41 y 3,71 cm con una confianza del 95%) superior que en el promedio de los árboles cosechados con máquina. La longitud de los brotes en los pinos sometidos a cosecha mecanizada en distintas fechas, promediando en los cuatro tramos, es similar (p-valor de 0,17 a 0,83 en las combinaciones).

En la tabla 3 se aprecian grandes diferencias en las varianzas a nivel de subparcela y a nivel de árbol en diferentes tramos, más altas en las campiñas, especialmente en árboles jóvenes.

### 1.2. Comparación de longitud de brotes apicales en distintos tratamientos en cada zona

En la Figura 3 se presenta la longitud de los brotes apicales obtenidos en los cinco tratamientos para cada zona y edad. La mayor longitud de los brotes apicales se

presentó en los árboles jóvenes de campiñas, especialmente en el tratamiento cosecha manual de la piña, seguidos por los árboles de esa misma zona sometidos a cosecha mecanizada.

En los páramos son más largos los brotes apicales en los árboles adultos cosechados manualmente, que en los cosechados mecanizadamente, mientras que en los árboles jóvenes no es clara esa diferencia. En las campiñas la longitud de los brotes apicales de los árboles jóvenes cosechados manualmente es superior que en los cosechados a máquina, mientras que en los adultos no se observa una diferencia clara entre ambos métodos de cosecha.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las comparaciones mediante contrastes individuales entre los cinco tratamientos de cosecha, para cada combinación de zona y edad.

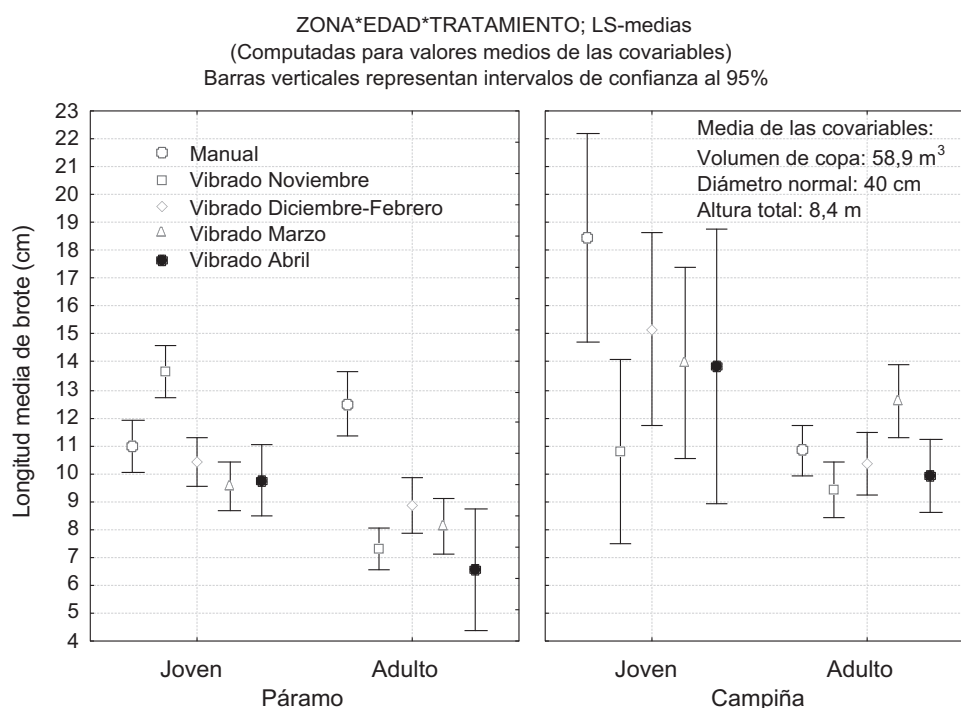
En las masas jóvenes sobre campiñas la longitud de los brotes apicales en cosecha manual es significativamente mayor que en los tratamientos mecanizados y no hay diferencia significativa entre los tratamientos mecanizados realizados en diferentes fechas. En masas adultas sobre páramos se obtuvieron comparaciones similares.

Al comparar los tratamientos mecanizados en diferentes fechas encontramos algunas diferencias significativas en la longitud de los brotes, que no siguen patrones definidos: el vibrado en noviembre va asociado a brotes más largos que los de otras fechas en rodales jóvenes sobre páramos, y a brotes más cortos que los de otras fechas en rodales jóvenes sobre campiñas; en las masas adultas sobre campiñas la longitud de los brotes con cosecha mecanizada en marzo fue significativamente superior que en el resto de los tratamientos.

El análisis de los residuos no presenta desviaciones considerables respecto de la hipótesis de normalidad.

**Tabla 3.** Componentes de la varianza del modelo lineal mixto utilizado para la longitud de brotes (cm) de *Pinus pinea*

		Páramos		Campiñas	
		Jóvenes	Adultos	Jóvenes	Adultos
Nivel subparcela		0,54	0,76	10,34	0,03
Nivel árbol	Manual	3,66	3,48	28,26	3,36
	Vibrado 1	2,92	1,41	5,50	5,87
	Vibrado 2	1,58	1,59	13,56	8,28
	Vibrado 3	1,25	1,32	12,80	10,67
	Vibrado 4	2,54	2,82	17,48	7,26



**Figura 3.** Longitud de los brotes apicales de *Pinus pinea* y su variación para cada una de las combinaciones de edad, zona y tratamiento.

## 2. Plagas de debilidad

### 2.1. *Rhyacionia buoliana*

La mayor parte de los árboles están libres de ataque y la larva de *Rhyacionia buoliana* es más frecuente en árboles que crecen sobre páramos (5,54 %) que en los que vegetan en campiñas (0,66 %) y son más abundantes los ataques a brotes en rodales adultos (5,99 %) que en rodales jóvenes (1,32 %) (Tabla 5).

El test de la Chi-cuadrado de Pearson detecta asociaciones significativas de los niveles de ataque con las zonas ( $p=0,0005$ ) y edades de rodal ( $p=0,0009$ ).

Al analizar los diferentes tratamientos (cosecha manual o mecanizada, y diferentes fechas de cosecha en la última), hubo pequeñas diferencias en la intensidad de ataque (Tabla 5), sin correspondencia significativa con el tratamiento ( $p=0,40$ ).

### 2.2. *Tomicus piniperda*

La mayor parte de los árboles no presentan ataques de *Tomicus piniperda* y la presencia es más frecuente en campiñas (5,96 %) que en páramos (2,77 %). Para el test Chi-cuadrado de Pearson esa correspondencia es esca-

samente significativa ( $p=0,042$ ). La frecuencia de árboles atacados en rodales adultos (4,23%) y en rodales jóvenes (4,22%) es prácticamente igual y el test Chi-cuadrado de Pearson no detecta asociación entre nivel de ataque y edad ( $p=0,998$ ).

Los diferentes tratamientos si presentaron diferencias en la intensidad de ataque (Tabla 5), resaltando que en las parcelas sometidas a cosecha manual no se detectaron brotes atacados, mientras que las parcelas sometidas a cosecha mecanizada en diferentes fechas mostraron porcentajes de árboles atacados entre 2,41 y 8,72. Estas asociaciones entre niveles de ataque y tratamiento resultaron altamente significativas según el test Chi-cuadrado de Pearson ( $p=0,002$ ). Los brotes atacados por *Tomicus piniperda* están huecos y la vibración derriba los brotes perforados fácilmente lo que repercutiría en infravalorar el nivel de ataque de *Tomicus* en las parcelas sometidas a cosecha mecanizada.

### 2.3. *Thaumetopoea pityocampa*

Es más frecuente en árboles de páramo (32,69 % de árboles invadidos) que en las campiñas (4,64 %) con correspondencia significativa según el test Chi-cuadrado de Pearson ( $p<0,0001$ ) (Tabla 5). Los árboles adultos



**Tabla 4.** Matriz de medias y de p-valores para los contrastes individuales de comparación de medias de longitud de brotes apicales de *Pinus pinea*, en diferentes tratamientos de cosecha

	Variable, tratamiento	Edades	Manual	Mecanizado			
				Nov	Dic-Feb	Marzo	Abril
PÁRAMOS	Longitud media (cm)	Jóvenes	11,00	13,63	10,43	9,55	9,76
		Adultos	12,50	7,30	8,85	8,13	6,56
	Cosecha manual	Jóvenes		<b>0,0001*</b>	0,3636	<b>0,0219*</b>	0,1198
		Adultos		<b>&lt;0,0001*</b>	<b>&lt;0,0001*</b>	<b>&lt;0,0001*</b>	<b>&lt;0,0001*</b>
	Noviembre	Jóvenes	----		<b>&lt;0,0001*</b>	<b>&lt;0,0001*</b>	<b>&lt;0,0001*</b>
		Adultos			<b>0,0144*</b>	0,181	0,5244
	Dic-Feb.	Jóvenes	----	----		0,1369	0,3836
		Adultos				0,3011	0,0588
	Marzo	Jóvenes	----	----	----		0,7758
		Adultos					0,1919
CAMPIÑAS	Longitud media (cm)	Jóvenes	18,46	10,79	15,18	13,95	13,86
		Adultos	10,84	9,41	10,35	12,58	9,92
	Cosecha manual	Jóvenes		<b>&lt;0,0001*</b>	<b>0,0059*</b>	<b>0,0033*</b>	<b>0,0006*</b>
		Adultos		<b>0,0262*</b>	0,4603	<b>0,0216*</b>	0,2287
	Noviembre	Jóvenes	----		0,1689	0,252	0,7625
		Adultos			0,2036	<b>0,0002*</b>	0,5288
	Dic-Feb.	Jóvenes	----	----		0,8272	0,1743
		Adultos				<b>0,0089*</b>	0,6182
	Marzo	Jóvenes	----	----	----		0,2371
		Adultos					<b>0,0047*</b>

Nota:\* diferencia significativa entre tratamientos  $p < 0,05$ .

no fueron atacados (0 %), mientras que las parcelas jóvenes si presentaron ataques de procesionaria (34,86%) con correspondencia significativa según el test Chi-cuadrado de Pearson ( $P < 0,0001$ ).

En las parcelas sometidas a cosecha manual casi la mitad de los árboles se encuentran atacados (42,96 %), mientras que los sometidos a cosecha mecanizada muestran porcentajes muy inferiores: 0-24,82 % de

**Tabla 5.** Árboles de *Pinus pinea* con brotes atacados por *Rhyacionia buoliana*, *Tomicus piniperda* y *Thaumetopoea pityocampa* en rodales de diferente edad en páramo y campiña. sometidos a diferentes tratamientos de vibración

Tratamiento	<i>Rhyacionia</i>			<i>Tomicus</i>			<i>Thaumetopoea</i>			Total	
	Au	Pre	% Pre	Au	Pre	% Pre	Au	Pre	% Pre		
Páramo	341	20	5,54	351	10	2,77	243	118	32,7	361	
Campiña	300	2	0,66	284	18	5,96	288	14	4,64	302	
Jóvenes	374	5	1,32	363	16	4,22	247	132	34,8	379	
Adultos	267	17	5,99	272	12	4,23	284	0	0	284	
Manual	136	6	4,23	142	0	0	81	61	42,96	142	
Mecanizado	Nov.	159	7	4,22	162	4	2,41	166	0	0	166
	Dic-feb	143	6	4,03	136	13	8,72	115	34	22,82	149
	Marzo	140	1	0,71	132	9	6,38	106	35	24,82	141
	Abril	63	2	3,08	63	2	3,08	63	2	3,08	65
Total	641	22	3,43	635	28	4,41	531	132	24,86	663	

**Au:** (Ausencia) árboles en los que no se detectó la plaga; **Pre:** (Presencia) árboles en que se detectó la plaga; **% Pre:** porcentaje de árboles afectados del **Total** de medidos.

árboles atacados. La asociación entre nivel de ataque y tratamiento resultó altamente significativa según el test Chi-cuadrado de Pearson ( $P < 0,0001$ ).

### 3. Defoliación

El test Chi-cuadrado refleja asociación significativa ( $p < 0,0001$ ) entre la edad y el nivel de defoliación (Tabla 6): más defoliación en edad adulta (19,14% de árboles con defoliación 15% o mayor) que en edad joven (7,46% de árboles con defoliación del 15% o mayor).

En cambio no se encuentra asociación significativa entre zona y defoliación ( $p = 0,6309$ ), ni entre el tratamiento y la defoliación ( $p = 0,2780$ ). La vibración no ha tenido efectos significativos en la defoliación del arbolado.

### Discusión

Las diferencias más claras se han detectado en árboles jóvenes de las campiñas y en árboles adultos de los páramos donde los árboles recolectados manualmente han presentado brotes más largos indicativos de mayor vigor. Los hábitos de crecimiento en altura del piñonero dependen de la edad y tienen máximos más precoces en las campiñas, cuya calidad de estación es mayor (Madrigal *et al.*, 1999; Calama *et al.*, 2003). Las com-

binaciones citadas de zona y edad tienen crecimientos elevados, y la recolección mecanizada puede disminuirlos. Contrariamente, en aquellas parcelas donde la longitud de los brotes es moderada, los pinos deben presentar brotes de longitud suficiente para alojar a las nuevas acículas: hay un tamaño mínimo de brote que los árboles no pueden reducir. También cabe la explicación de que la vibración afecte poco a los árboles menores de 30 cm de diámetro y a los mayores de 55 cm de diámetro, y mucho a los árboles entre 35 y 50 cm de diámetro.

Esa disminución del crecimiento en altura fue ya detectada por Peruzzi *et al.* (1989a, 1989b) en árboles vibrados anualmente a lo largo de veinte años: estos autores esperan que no tenga repercusión económica importante, pero la afectación al vigor indica la importancia que tiene la adecuada aplicación de la recolección mecanizada. Limitar las potencias de la maquinaria y tiempos de vibración puede disminuir los efectos negativos sobre el vigor del arbolado. En cambio McLemore y Chappell (1973) no encontraron influencia del vibrado mecánico de *Pinus elliottii* Engelm. sobre el crecimiento y la producción de piñas en los 4 años siguientes.

Coutand *et al.* (2000) y Coutand y Moulia (2000) demostraron que plantas de tomate sometidas a una suave flexión en el tallo, dejan inmediatamente de crecer durante un tiempo y luego reanudan el crecimiento. Moulia y Combes (2004) demostraron que los tallos de

**Tabla 6.** Nivel de defoliación de los árboles de *Pinus pinea* en rodales de diferente edad en páramo y campiña sometidos a diferentes tratamientos de vibración

Tratamiento	Número de árboles con nivel de defoliación		Porcentaje de árboles con defoliación	Total
	5%	15% o más	15% o más	
Páramo	228	34	13,0	262
Campiña	214	28	11,6	242
Jóvenes	273	22	7,5	295
Adultos	169	40	19,1	209
Manual	124	21	14,5	145
Mecanizado	Nov.	-	-	-
	Dic.-Feb.	129	21	14,0
	Marzo	131	11	7,8
	Abril	58	9	13,4
	Total	442	62	14,0

Nota: los árboles cosechados en noviembre no se fotografiaron.

la alfalfa crecen entre un 40% y un 50% más cuando se limita su movimiento, que los que se dejan vibrando a merced del viento. Trabajando en cerezo Coutand *et al.* (2008) aplicaron una flexión de 1 minuto cada 3 horas a plantas de vivero, lo que repercutió en un aumento de la biomasa de raíces, disminución del crecimiento en altura y aumento del crecimiento en diámetro. La vibración y el viento tienen efectos similares sobre las plantas: deja de crecer la parte aérea y el árbol dedica recursos a anclarse mejor, aumentando el crecimiento en las raíces. Cuanto más activo y vigoroso sea el crecimiento aéreo, el cese del crecimiento repercutirá más en el crecimiento final.

La fecha de vibración desde noviembre a abril no ha tenido efectos significativos sobre el vigor de los árboles aunque la figura 2 muestra cierta tendencia a un mayor crecimiento de los brotes de los árboles vibrados en el centro del periodo hábil: cuanto más parado vegetativamente esté el árbol, menos le afecta el vibrado. Tanto al principio (noviembre) como al final del periodo hábil (marzo-abril) las raíces activas acusan ese efecto y consumen reservas que ya no podrán ser empleadas en el crecimiento de los brotes. El crecimiento aéreo es buena medida del vigor de los árboles (su capacidad relativa de prosperar, fructificar y soportar competencia y adversidades), pero el estímulo mecánico afecta al reparto del crecimiento de las plantas entre parte aérea y radical, dificultando conocer la repercusión en el vigor. La administración forestal fijó en los años 2001 y siguientes el periodo hábil para recogida mecanizada el comprendido entre el 11 de noviembre y el 10 de abril del año siguiente, ambos inclusive.

Robredo (1978) atribuye a la saliva de las orugas de *Rhyacionia buoliana* una capacidad de cristalización de la resina de los pinos que imposibilita a éstos para inundar de resina los brotes afectados, y así defenderse matando a las orugas. Si el éxito de las orugas no está condicionado por el vigor de los árboles que parasitan, es lógico que no se encuentre relación entre tratamientos y el nivel de ataque de *Rhyacionia*. La mayor abundancia en árboles adultos contradice lo encontrado en la bibliografía (Romanyk y Cadahía, 2001), lo que es interesante ya que rara vez pueden medirse niveles de ataque en la copa de árboles grandes, pero el estudio no se diseñó con ese objetivo y los resultados deben tomarse con reservas.

Lev-Yadun (2002) describe que la ruptura de brotes apicales en *Pinus pinea* genera un gran incremento en la frecuencia de canales resiníferos, localizado entre 10 y 40 cm más abajo del corte: los brotes derribados por

la máquina vibradora afectan a la fisiología de la copa. Almquist *et al.* (2006) analizaron la capacidad de *Tomicus* para seleccionar su hospedante en la fase de alimentación en la copa de varias especies de pinos por los monoterpenos emitidos por éstos, lo que determina la intensidad del ataque. Santos *et al.* (2006) analizaron la especificidad de las emisiones de monoterpenos de varios pinos mediterráneos y Staudt *et al.* (2000) modelizaron estas emisiones en *Pinus pinea* encontrando una gran dependencia de la época del año y variaciones a corto plazo relacionados con factores que afectan el vigor del arbolado: luz, temperatura, disponibilidad de agua y de nutrientes. Los adultos inmaduros de *Tomicus* son altamente selectivos de pinos debilitados y eligen en la masa los árboles afectados negativamente por el tratamiento de vibración, detectando precozmente los efectos negativos de la cosecha mecanizada. Esa alta selectividad de la especie se debe a que los árboles vigorosos pueden ocluir con la resina las perforaciones de larvas y adultos, condicionando supervivencia y éxito reproductor. La alimentación selectiva en árboles vibrados demuestra que un porcentaje de los árboles vibrados (2,4-8,7%) resulta debilitado a un nivel que el escolítido detecta y selecciona. Los cuidados selvícolas y el control de la población de escolítidos serán más importantes en montes objeto de recolección mecanizada.

La vibración de los pinos derriba muchas orugas de procesionaria, parte de las cuales mueren si el derribo coincide con bajas temperaturas, lo que explicaría la reducción de la población en las parcelas vibradas. Hodar *et al.* (2004) encontraron una reducción de supervivencia de orugas de esta especie alimentadas de pinos defoliados en temporadas anteriores, lo que sugiere que eligen para alimentarse los árboles de crecimiento más vigoroso a su disposición: en nuestro ensayo los árboles jóvenes y los recolectados manualmente. Esta selección podría estar relacionada también con la emisión de terpenos: Petrakis *et al.* (2005) detectan capacidad de respuesta de las orugas de instar 3 y 4 (las más móviles) en su alimentación, a la emisión de terpenos de los árboles, lo que se relaciona con el crecimiento de las larvas, que depende de la especie hospedante (Avtzis, 1986). La recolección mecanizada afectará negativamente la supervivencia de orugas, disminuirá la importancia de los ataques de procesionaria, y facilitará la recolección de piña de árboles infestados disminuyendo el contacto de trabajadores con larvas urticantes.

La defoliación es inapreciable en todas las parcelas y tratamientos. Esto refuerza la explicación de que árbo-

les vibrados o no vibrados generan cada año una masa foliar suficiente. No se encuentra relación entre la presencia de procesionaria y la defoliación, quizá porque la defoliación se midió durante la brotación primaveral, cuando las orugas ya estaban crisalidando.

En la actualidad se está trabajando en el efecto de la recolección mecanizada sobre la regeneración natural, que es preocupante en las unidades en regeneración y supone una limitación que gestores, propietarios e industriales no pueden ignorar.

Los efectos del vibrado sobre el crecimiento en las zonas estudiadas son bastante claros, sin embargo, si se quieren extrapolar los resultados del estudio a otras comarcas, sería deseable analizar la respuesta del piñonero en esas zonas. Sería interesante estudiar también los efectos de las máquinas que se han incorporado a la recolección en los años transcurridos e instalar mayor número de parcelas de ensayo para analizar en muestras más amplias el efecto del tamaño del árbol en la reducción del crecimiento.

## Conclusiones

La cosecha mecanizada repercute de manera negativa y moderada en el crecimiento de pino piñonero disminuyendo la longitud de los brotes. Este efecto es más notorio en zonas de crecimiento vigoroso: árboles adultos de los páramos, y árboles jóvenes de las campiñas. La fecha de la vibración entre noviembre y abril no influye en el crecimiento de los brotes.

*Tomicus piniperda* detecta una disminución del vigor en los árboles vibrados y se alimenta preferentemente en éstos. Los niveles de *Rhyacionia buoliana* son independientes del crecimiento de los árboles y del método de cosecha. La vibración disminuye el nivel de procesionaria que parece seleccionar para su alimentación los árboles con mayores crecimientos. La defoliación ha sido pequeña, sin relación aparente con los tratamientos.

Las reducciones en el crecimiento de los árboles no son alarmantes y se compensan por las ventajas de la recolección mecanizada. Para aminorar la reducción del vigor de los árboles y limitar sus consecuencias negativas se recomienda: un seguimiento por parte de la administración forestal de las técnicas de vibración utilizadas, velando porque se apliquen adecuadamente y una mayor vigilancia de la sanidad de los pinos, especialmente de la población de escolítidos, en las zonas sometidas repetidamente a recolección mecanizada.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la participación de M<sup>a</sup> José Torres González y Pablo Rubio Torres en el trabajo de campo; la excelente colaboración de los Agentes Medioambientales del Servicio Territorial de Valladolid; las sugerencias de Juan Pajares Alonso; la revisión del abstract por Jennifer Ann Stengle; y las correcciones de Felipe Bravo Oviedo y dos revisores anónimos que enriquecieron notablemente el trabajo.

## Referencias bibliográficas

- ALMQUIST A.C., FÄLDT J., YART A., CHEVET Y., SAUVARD D., LIEUTIER F., BORG-KARLSON A.K., 2006. Host selection in *Tomicus piniperda* L.: Composition of monoterpene hydrocarbons in relation to attack frequency in the shoot feeding phase. *Z. Naturforsch.* 61c, 439-444.
- AVTZIS N., 1986. Development of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Lepidoptera: Thaumetopoeidae* in relation to food consumption. *Forest Ecology and Management* Vol 15 (1), 65-68.
- BARASONA-MATA J., BARASONA-VILLAREJO M.L., RODRÍGUEZ-MORENO R., CANO-RODRÍGUEZ J., 1999. Rendimientos y costes de mecanización de la recolección de aceituna. Monografía Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla. 39 pp.
- BARRANCO J., ORTUÑO S. F., 2004. Aproximación al sector del piñón en España. *Estudios Agrosociales y Pesqueros* n° 201, 165-189.
- BONARI E., BAGLIACCA M., CIONEI D., SENESI G., 1980. Recogida de piñones con máquinas vibradoras. Grupo periodístico Edagri. En *Máquinas y motores agrícolas*. Año XXXVIII n° 12, 11 pp.
- CALAMA R., CAÑADAS N., MONTERO G., 2003. Inter-regional variability in site index models for even aged stands of stone pine *Pinus pinea* L. in Spain. *Ann. For. Sci.* 60, 259-269.
- CALAMA R., GORDO F.J., MUTKE S., MONTERO G., 2008. An empirical ecological-type model for predicting stone pine *Pinus pinea* L. cone production in the northern Plateau Spain. *Forest Ecology and Management* 255 (3/4), 660-673.
- COUTAND C., JULIEN J.L., MOULIA B., MAUGET J.C., GUITARD D., 2000. A biomechanical study of the effect of a controlled bending on tomato stem elongation: I Global mechanical analysis. *J. Exp. Bot.* 51 (352), 1813-1824.

- COUTAND C., MOULIA B., 2000. A biomechanical study of the effect of a controlled bending on tomato stem elongation: II Local mechanical analysis and spatial integration of the mechanosensing. *J. Exp. Bot.* 51 (352), 1825-1842.
- COUTAND C., DUPRAZ C., JAOUEN G., PLOQUIN S., ADAM S., 2008. Mechanical stimuli regulate the allocation of biomass in trees: Demonstration with young *Prunus avium* trees. *Annals of Botany. Oxford.* Vol. 101 Iss. 9, 1421-1423.
- FERRETTI M. (ed), 1994. Especies forestales mediterráneas. Guía para la evaluación de las copas. CEE-UN/ECE. Bruselas, Ginebra. 93 pp.
- GIL-RIBES J., LÓPEZ-GIMÉNEZ, F.J., 2008. Mecanización. En BARRANCO D., FERNÁNDEZ ESCOBAR R., RALLO L. (eds), El cultivo del olivo. Mundiprensa. Madrid, España. Pp. 435-505.
- GORDO J., 2004. Selección de grandes productores de fruto de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- HERRERO J., 2000. La recogida de piña en la meseta norte. En Junta de Castilla y León. 1er Simposio del Pino Piñonero *Pinus pinea* L. Valladolid. Tomo II, Pp. 259-267.
- HODAR J.A., ZAMORA R., CASTRO J., BARAZA E., 2004. Feast and famine: previous defoliation limiting survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in Scots pine *Pinus sylvestris*. *Acta Oecologica* Vol 26 (3), 203-210.
- HUMANES J., HERRUZO B., 1977. Influencia de los métodos de recolección manual y mecánico de la aceituna sobre la cosecha del año siguiente. INIA. Córdoba. s/p.
- JAFFE M.J., 1973. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation. *Planta* 114, 143-157.
- JAFFE M.J., 1984. The involvement of callose and elicitors in ethylene production caused by mechanical perturbation, en Y. Fuchs and E. Chalutz [eds], Ethylene: biochemical, physiological and applied aspects, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague, Netherlands. Pp 199-215.
- KNIGHT T.A., 1806. On the direction of the radicle and germs during the vegetation of seeds. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 99, 108-120.
- LEBLANC-FOURNIER N., COUTAND C., CROUZET J., BRUNEL N., LENNE C., MOULIA B., JULIEN J.L., 2008. Jr-ZFP2, encoding a Cys2/His2-type transcription factor, is involved in the early stages of the mechano-perception pathway and specifically expressed in mechanically stimulated tissues in woody plants. *Plant, Cell and Environment* 31, 715-726
- LEÓN L., de la ROSA R., BARRANCO D., RALLO L., 2005. Selection for fruit removal force and related characteristics in olive breeding progénies *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45 (12), 1643-1647.
- LEV-YADUN S., 2002. The distance to witch wound effects influence the structure of secondary xylem of decapitated *Pinus pinea*. *J. Plant Growth Regul* (21), 191-196.
- MADRIGAL A., ÁLVAREZ J., RODRÍGUEZ R., ROJO A., 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. 253p.
- MARTÍNEZ-ZURIMENDI P., GONZÁLEZ F., PÉREZ F., RUBIO P., GORDO F.J., FINAT L., SAN MARTÍN R., SIERRA-de-GRADO R., 2003. Apeo mecanizado de piña de pino piñonero *Pinus pinea* L. Impacto sobre el arbolado y sobre las cosechas futuras. 1er Congreso de Agroingeniería. Córdoba. Pp. 456-460.
- MARTÍNEZ-ZURIMENDI P., SIERRA-de-GRADO R., 2006. Posibilidades del aprovechamiento mecanizado de piña. VII Jornadas de Selvicultura de Profor. Gestión de masas naturales de piñonero para fruto y técnicas de cultivo. Valladolid. 7 pp. [en línea]. Disponible en: <http://www.profor.org/profor/archivos/hemeroteca/PABLO%20MARTINEZ%20ZURIMENDI.pdf> [consulta: 8 octubre 2007]
- MARTÍNEZ-ZURIMENDI P., ESCALERA F.A., DOMÍNGUEZ M., SIERRA-de-GRADO R., 2006. Evaluación de las posibilidades del aprovechamiento mecanizado de piña en la Meseta norte mediante la aplicación de los resultados del II Inventario Forestal Nacional. Congreso Forestal: desarrollo forestal y desarrollo rural. Octubre 2006, Burgos. 5 Pp.
- McLEMORE B.F., CHAPPELL T.W., 1973. Mechanical shaking for cones harmless to slash pines. *Journal of Forestry* 71 (2), 96-97.
- MONTOYA R., LÓPEZ-ARIAS M., 1997. La red europea de seguimiento de daños en los bosques Nivel 1. España 1987-1996, Publicaciones del O. A. Parques nacionales, MMA. Madrid. 557 pp.
- MOULIA B., COMBES D., 2004 Thigmomorphogenetic acclimation of plants to moderate winds greatly affects height structure in field-grown alfalfa (*Medicago sativa* L.), an indeterminate herb. Society for Experimental Biology General Congress. Edingburgh (oral communication + abstract)
- MUTKE S., 2005. Modelización de la arquitectura de copa y de la producción de piñón en plantaciones clonales de *Pinus pinea* L. Tesis doctoral, E. T. S. de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- MUTKE S., GORDO J., CLIMENT J., GIL L., 2003. Shoot growth and phenology modelling of grafted Stone pine *Pinus pinea* L. in inner Spain. *Ann. For. Sci.* 60 (6), 527-537.

- MUTKE S., GORDO J., GIL L., 2005a. Variability of Mediterranean Stone pine cone production – yield loss as response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 263-272.
- MUTKE S., SIEVÄNEN R., NIKINMAA E., PERTTUNEN J., GIL L., 2005b. Crown architecture of grafted Stone pine *Pinus pinea* L.: shoot growth and bud differentiation. *Tree Structure and Function* 19 (1), 15-25.
- OVANDO P., CAMPOS P., CALAMA R. y MONTERO, G., 2008. Rentabilidad de la forestación de tierras agrícolas marginales con pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en la provincia de Valladolid. III Conferencia de la Asociación Hispano Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales (AERNA). 48 pp.
- PÉREZ F., TORRE B., SANZ L., GARCÍA-JIMÉNEZ C., GORDO F.J., FINAT L., MARTÍNEZ-ZURIMENDI P., SIERRA-DE-GRADO R., PANDO V., SAN MARTÍN R., GONZÁLEZ F., ACUÑA L., CÁRCEL L., BRAVO F., 2001. Seguimiento del ensayo de recogida de mecanizada de piña de *Pinus pinea* L. en tres montes del catálogo de U.P. de la provincia de Valladolid. Servicio territorial de medio ambiente de la Junta de Castilla y León de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA), Universidad de Valladolid, TRAGSA.
- PERUZZI A., MAZZONCINI M., CIOMEI D., SENESI G., 1989a. Meccanizzazione delle operazioni di raccolta degli strobili di pino domestico *Pinus pinea* L. Nota 1- Macchine e attrezzature, cantieri e organizzazione del lavoro. *Ingegneria Agraria*, Anno XX-n° 3, 165-173.
- PERUZZI A., MAZZONCINI M., CIOMEI D., SENESI G., 1989b. Meccanizzazione delle operazioni di raccolta degli strobili di pino domestico *Pinus pinea* L. Nota 2- Risultati produttivi e primi valutazioni degli effetti delle vibrazioni sulle piante. *Ingegneria Agraria*, Anno XX-n° 4, 234-239.
- PETRAKIS P.V., ROUSSIS V., PAPADIMITRIOU D., VAGIAS C., TSITSIMPIKOU C., 2005. The effect of terpenoid extracts from 15 pine species on the feeding behavioural sequence of the late instars of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa*. *Behavioural Processes* n° 69-3; 303-322.
- PINHEIRO A.C., PEÇA J.O., GONÇALVES A.C., RIBEIRO N.A., VACAS DE CARVALHO M.A., GOMES J.A., SARAIVA D.S., BARRIGUINHA A.F., REYNOLDS D.S.D., 2003. The use of a multi-directional trunk shaker in the mechanical harvesting of pine cones. XXII IUFRO World congress Forest in the balance: Linking tradition and technology. P 138.
- ROBREDO F., 1975. Contribución al conocimiento de la bioecología de *Rhyacionia buoliana* Den et Schiff., 1776 *Lep., Tortricidae*. I Estudio del Adulto. *Boletín del Servicio de Plagas* 11, 69-81.
- ROBREDO F., 1978. Contribución al conocimiento de la bioecología de *Rhyacionia buoliana* Den et Schiff, 1776 *Lep., Tortricidae*. II. Estudio de los estados inmaduros, puesta, oruga y crisálida. *Boletín del Servicio de Plagas* 41, 69-88.
- ROMANYK N., CADAHÍA D., (eds), 2001. Plagas de insectos en las masas forestales. Mundiprensa, Madrid. 336 pp.
- SANTOS A.M., VASCONCELOS T., MATEUS E., FARRALL M.H., GOMES da SILVA M.D.R, PAIVA M.R., BRANCO M., 2006. Characterization of the volatile fraction emitted by phloems of four *Pinus* species by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. Vol 1105 (1-2), 191-198.
- STAUDT M., BERTIN N., FRENZEL B., SEUFERT G., 2000. Seasonal variation in amount and composition of monoterpenes emitted by young *Pinus pinea* trees– Implications for emission modeling. *Journal of Atmospheric Chemistry* 35, 77–99.
- TELEWSKI F.W., 2006. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. *American Journal of Botany* 93(10), 1466–1476.