

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

PODA MECANIZADA DE VIDES PARA VINIFICACIÓN

MATÍAS PATRICIO CAICHAC HOPPE

SANTIAGO - CHILE
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

PODA MECANIZADA DE VIDES PARA VINIFICACIÓN

MECHANICAL PRUNING OF WINEGRAPES

MATÍAS PATRICIO CAICHAC HOPPE

SANTIAGO - CHILE
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

PODA MECANIZADA DE VIDES PARA VINIFICACIÓN

Memoria para optar al Título Profesional de:
Ingeniero Agrónomo

MATÍAS PATRICIO CAICHAC HOPPE

Profesor Guía	Calificaciones:
María Cecilia Peppi A. Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.	6,4
Profesores Evaluadores	
Gabino Reginato M. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,0
Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	5,8

AGRADECIMIENTOS

A Cecilia Peppi por su excelente disposición, gran eficiencia y necesaria rigurosidad.

A Bernardita por su apoyo incondicional.

A mi familia y, en particular, a mi madre; Verena Hoppe Wiegering, por todo.

DEDICATORIAS

A Patricio Caichac Rivera Q.E.P.D.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Materiales	6
Métodos	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
La poda de vides	7
Definición	7
Vigor y capacidad	7
Fundamentos de la poda	7
Conceptos generales de la poda mecánica.....	8
La poda mecánica: origen y primeras experiencias	8
Balance y adaptación a la poda mecánica.....	11
Principales factores que afectan el balance y adaptación a la poda mecánica.....	12
Tipos de poda mecánica	15
Poda en seto (<i>box-hedge pruning</i>)	15
Poda mínima (<i>minimal pruning</i>).....	17
Otros acercamientos de poda mecánica	19
La poda mecánica y su efecto en el crecimiento vegetativo y distribución de madera frutal	19
Poda en seto	19
Poda mínima	27
La poda mecánica y su efecto en el rendimiento.....	31
Poda en seto	31
Poda mínima	38
La poda mecánica y su efecto en la composición de la uva: sólidos solubles, acidez titulable, pH, antocianinas, aroma y aspectos sensoriales	42
Poda en seto	42
Poda mínima	49
Sanidad	52
Poda en seto	52
Poda mínima	54
Aspectos económicos y de manejo relevantes.....	55
Poda en seto	55
Poda mínima	57
CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60

RESUMEN

A partir de los documentos revisados para la elaboración de la presente monografía es posible señalar que la poda mecánica de vides surge hace más de 60 años, con el fin de reducir los costos de producción y aumentar la rentabilidad de viñedos.

Si bien la poda mecánica permite podar vides a menor costo que la poda manual tradicional, lo hace en forma menos precisa. Esto se traduce en un aumento del número de yemas retenidas por planta, lo que activa una serie de respuestas fisiológicas que, de no ser abordadas, pueden complicar el manejo del viñedo y perjudicar la calidad de la uva y del vino.

En la actualidad existen diversas experiencias que validan la correcta adecuación a la poda mecánica bajo ciertas condiciones agroecológicas. Sin embargo, la complejidad del análisis ha conducido a generar una resistencia a su implementación, siendo posible encontrar muchos casos donde, a pesar de las presiones económicas, la poda mecánica es aun parcial o definitivamente no se aplica.

La recopilación de antecedentes realizada indica que entender el comportamiento de la vid y los factores que interactúan al imponer algún tipo de poda mecánica es clave para lograr una adecuada adaptación a dicho sistema y de ese modo rentabilizar la producción de uva para elaboración de vino.

Palabras clave: mecanización de viñedos, poda ligera, poda en seto, poda mínima.

ABSTRACT

From the documents reviewed for the preparation of this monograph it is possible to point out that mechanical pruning of grapevines arises more than 60 years ago, in order to reduce production costs and increase vineyards profitability.

While mechanical pruning allows trimming vines at lower cost than traditional manual pruning, it does so less precisely. This result in an increase of buds number retained per plant, which activates a series of physiological responses that, if not addressed, may complicate vineyard management and impair grapes and wine quality.

Currently there are several experiences that validate a proper adaption to mechanical pruning under certain ecological conditions. However, the complexity of the analysis has led to resistance in its implementation, being able to find many cases where, in spite of the economic pressures, mechanical pruning is still partial or definitely not applied.

The background compilation carried out indicates that to understand vine behavior and the factors interacting with the imposition of some type of mechanical pruning is key to achieve an adequate adaptation and thus, to make wine grapes production profitable.

Key words: vineyard mechanization, light pruning, hedge pruning, box-hedge pruning, minimal pruning.

INTRODUCCIÓN

La poda de la vid se realiza tradicionalmente en forma manual durante el receso invernal, con el fin de remover la mayor parte del crecimiento vegetativo producido la temporada anterior. En esta labor se busca mantener la forma y tamaño de la planta, controlar el número de yemas, retener la mayor cantidad de las yemas potencialmente productivas con una óptima distribución, controlar el número de brotes y, por lo tanto, el número y cantidad de racimos (Winkler et al., 1974).

La poda se considera la labor más importante en el ciclo anual del manejo de un viñedo (Zabadal et al., 2002) y su relevancia en la configuración de costos está ampliamente aceptada (Freeman y Cullis, 1981; Lakso et al., 1996; Possingham, 1996; Main y Morris, 2008; Clingeffer, 2013). Main y Morris (2008) señalan que la poda invernal (manual) puede ser el mayor factor de costo en las operaciones del viñedo después de la cosecha manual, mientras que Intrieri (2013) señala que en algunos sistemas de conducción el costo operacional de este tipo de poda puede alcanzar un 47% del costo total, superando, incluso, el costo de la cosecha manual.

La gran participación de la poda en la configuración de costos, la tendencia mundial a la reducción de la disponibilidad de mano de obra calificada e incremento de su precio y el aumento sostenido de los gastos generales en la producción de viñedos han conducido a investigadores y productores a avanzar hacia la poda mecanizada de vides (Intrieri y Poni, 1995; Newson y Nettelbeck, 2013; Pezzi et al., 2013). La poda mecánica de vides surge como una herramienta capaz de enfrentar estas presiones económicas, debido a que habitualmente se asocia a aumentos de rendimiento y su costo operacional es mucho más bajo que el de la poda manual tradicional, lo que se traduce en una mayor eficiencia productiva en viñedos podados mecánicamente (Lakso et al., 1996). No obstante, los autores destacan que los sistemas de poda mecánica, al ser podas más ligeras, cambian muchos de los patrones básicos de crecimiento y desarrollo que han sido estudiados por décadas, por lo que es necesario entender las bases de estas diferencias de un modo sistemático para alcanzar un manejo óptimo.

El principal impacto que genera la adopción de sistemas de poda mecánica, en reemplazo de sistemas de poda tradicional (manual), es el aumento de yemas retenidas en la planta (Freeman y Cullis, 1981; Poni et al., 2004; Gatti et al., 2011; Caprara y Pezzi, 2013). Esto conduce a un aumento en el número de brotes (Freeman y Cullis, 1981; Clingeffer y Krake, 1992; Poni et al., 2004; Tomasi et al., 2013) y en el número de racimos por planta (Morris y Cawthon, 1981; Sims et al., 1990; Lopes et al., 2000; Keller et al., 2004), lo que generalmente se traduce en un aumento del rendimiento (Wilson, 1983; Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Reynolds, 1988; McCarthy y Cirami, 1990; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Reynolds y Wardle, 1993; Lakso et al., 1996; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Lopes et al., 2000; Keller et al., 2004; Poni et al., 2004; Cruz et al., 2011;).

En ocasiones, el incremento de rendimiento que genera la poda mecánica puede acercarse al potencial productivo de la vid. Si a su vez la planta se encuentra en un entorno de condiciones restrictas, se puede manifestar una sobrecarga frutal que induzca un desbalance fisiológico. Esto puede generar decaimiento productivo, producción alternada, reducción de resistencia invernal, retraso en la madurez, deterioro en la calidad de la fruta y del vino, etc. (Morris y Cawthon, 1981; Reynolds, 1988; McCarthy y Cirami, 1990; Reynolds y Wardle, 1993; Possingham, 1996; Keller et al., 2004).

El éxito en la implementación de un sistema de poda mecánica radica en que, a pesar del aumento de yemas retenidas, la planta logre mantener un equilibrio entre crecimiento vegetativo y producción de fruta (Keller et al., 2004). Sin embargo, esto es difícil de conseguir debido a que este equilibrio está influenciado por factores de tipo medioambientales (Possingham, 1996), genéticos (Poni et al., 2004) y de manejo (Possingham, 1996). La variabilidad de estos factores y el impacto que tienen en la adaptación de vides a la poda mecánica cuenta con amplio respaldo en la literatura, siendo posible encontrar casos donde similares tratamientos de poda mecánica generan respuestas favorables o desfavorables, dependiendo del entorno y sus interacciones con la planta (Poni et al., 2004).

El propósito de esta monografía es reunir y analizar la información disponible respecto a la poda mecánica de vides, considerando las experiencias obtenidas bajo diferentes condiciones agroecológicas, con la finalidad de profundizar en la comprensión de las múltiples interacciones asociadas a una correcta adaptación de viñedos a estos sistemas de poda.

Objetivo

Reunir y analizar antecedentes de la poda mecánica de la vid y sus efectos en el viñedo y la calidad de la uva para vinificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La recopilación de información para para el desarrollo de la presente investigación consideró documentos relacionados directamente la poda mecánica de vides y documentos de apoyo. Se consultaron referencias bibliográficas publicadas desde el año 1958 a la fecha, con énfasis en las más recientes y aquellas cuyo objeto de estudio no haya sido abordado posteriormente.

Métodos

La metodología de la investigación consideró la búsqueda de documentos que contuvieran referencias a la poda mecánica de vides o a conceptos afines. Estos documentos fueron clasificados de acuerdo a los tipos de poda mecánica más relevantes y sub clasificados de acuerdo al objetivo de análisis particular de cada investigación; crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad de la uva y/o el vino, aspectos sanitarios, aspectos económicos y de manejo relevantes. Finalmente, cada sub grupo fue ordenado cronológicamente y su revisión fue siempre de más antiguo a más nuevo para poder entender la evolución de cada sistema de poda mecánica y la forma en que se enfrentaron los obstáculos a su implementación a través del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La poda de vides

Definición

La poda comprende la remoción de ciertas estructuras vivas de la vid, como sarmientos, hojas y otras partes vegetativas. La remoción de madera muerta, aunque deseable, no se enmarca dentro del concepto de poda, dado que no tiene un efecto sobre el comportamiento fisiológico de la vid. La remoción de flores o inflorescencias, racimos inmaduros o partes de racimos inmaduros, se llama raleo. La remoción de fruta madura es la cosecha (Winkler et al., 1974).

Vigor y capacidad

Para analizar las respuestas específicas de la vid a la poda es necesario comprender dos términos: vigor y capacidad. Vigor es una cualidad o condición que se expresa en un rápido crecimiento de las partes de la planta; se refiere esencialmente a la tasa de crecimiento. La capacidad, por otro lado, es la cantidad de actividad total respecto al crecimiento y producción que la vid, o una parte de ella, es capaz de manifestar. Este término se refiere a la habilidad de producción total, más que a la tasa o ritmo de actividad o producción (Winkler et al., 1974).

Una vid juvenil puede mostrar un gran vigor en términos cualitativos, sin embargo, en términos cuantitativos tiene mucho menos capacidad de crecimiento total y de producción de fruta que una vid adulta o madura. Si una vid es podada severamente, el número de brotes que produce se reduce, pero cada uno será mucho más vigoroso, es decir, crecerán más rápido que aquellos de vides podadas ligeramente. La vid podada en forma severa tendrá brotes más vigorosos, pero tendrá menor cantidad de brotes y de hojas, lo que se traduce en un menor crecimiento total y, por lo tanto, en una menor capacidad en términos de crecimiento vegetativo y de producción de fruta, comparado con vides podadas en forma ligera. Al analizar un brote individual, sin embargo, el vigor y la capacidad de producción tienen un comportamiento distinto; un brote vigoroso tiene una gran capacidad, mientras que un brote débil tiene una pequeña capacidad (Winkler et al., 1974).

Fundamentos de la poda

En términos generales, la poda invernal tradicional de vides considera la necesidad de mantener la forma, productividad y calidad de fruta (Clingleffer, 1984).

La poda tiene diversos objetivos, entre ellos contribuir a establecer y mantener la forma de la vid con el fin de reducir los costos operativos y facilitar el control de enfermedades e

insectos, raleo y cosecha. Adicionalmente, busca distribuir la madera productiva en la vid, entre vides y a través de los años, de acuerdo a la capacidad de los pitones, cargadores y de la misma planta, para así ajustar la producción y obtener altos rendimientos de fruta de calidad. Por último, la poda busca disminuir o eliminar el raleo como herramienta de control de carga, dado que la poda es la forma más barata de eliminar racimos (Winkler et al., 1974).

Para alcanzar los objetivos de la poda es necesario considerar ciertos principios del comportamiento de las plantas. Estos principios se basan en las respuestas de la vid ante la remoción de partes vegetativas o productivas, es decir, en sus hábitos de crecimiento y fructificación (Winkler et al., 1974).

Winkler et al. (1974) proponen la existencia de siete principios fundamentales de la poda:

1. La poda ejerce un efecto depresor o restrictivo en la vid; la remoción de partes vegetativas vivas, en cualquier momento, disminuye la capacidad o capacidad productiva total de la vid.
2. La producción de fruta deprime la capacidad de la vid para la siguiente temporada o temporadas.
3. La capacidad de una vid varía directamente con el número de brotes que desarrolla.
4. El vigor de los brotes de una vid varía en forma inversa con el número de brotes y con el rendimiento de fruta.
5. La fertilidad de una vid, es decir, la capacidad de producir fruta, dentro de ciertos límites, varía en forma inversa con el vigor de los brotes.
6. Un(a) gran cargador, brazo o vid puede producir más que uno(a) pequeño(a) y, por lo tanto, debería tener mayor cantidad de yemas frutales.
7. Una determinada vid, en una determinada temporada puede sustentar nutricionalmente, y conducir a madurez, sólo una cierta cantidad de fruta; su capacidad está limitada por su historia previa y su medioambiente.

Conceptos generales de la poda mecánica

La poda mecánica: origen y primeras experiencias

La primera investigación realizada en mecanización de viñedos fue un estudio de cosecha mecánica desarrollado por la Universidad de California (UC-Davis), a inicio de la década del 50. Este estudio implicó el desarrollo de sistemas de conducción en los cuales los racimos quedaban colgando bajo el alambre y la cosecha consistía en utilizar una barra de corte montada en tractor, la cual cortaba entre el racimo y el alambre. Este sistema no prosperó y nunca fue comercializado, debido a la gran cantidad de racimos que eran atravesados y destruidos por las barras de corte. En estudios posteriores (1957), realizados en la estación experimental de la Universidad de Cornell, ubicada en Geneva (Nueva York), fue desarrollado un sistema de conducción para variedades de hábito descendente, como Concord (*Vitis labrusca*), llamado “doble cortina de Geneva” o GDC, el cual condujo al primer acercamiento comercial de cosecha mecanizada con unidades vendimiadoras

basadas en el uso de sacudidores de plantas. A mediados de la década del 60 aparecieron modelos de cosechadoras que serían los predecesores de la cosechadora O-W, a partir de cuyo concepto se origina el resto de las cosechadoras con sistema de sacudido, el cual es el más utilizado en la actualidad (Morris, 2007).

La poda mecanizada comenzó a desarrollarse poco tiempo después de la introducción comercial de las cosechadoras de uva, hacia finales de la década del 60, y los primeros equipos de poda mecánica fueron fabricados a partir del reacondicionamiento de máquinas cosechadoras de uva (Dokoozlian, 2013).

La mecanización de la poda fue concebida con el fin de reducir los costos de producción de uva ‘Concord’ (*Vitis labrusca*) en Nueva York y Arkansas, utilizada para la producción de jugo y jalea (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993). Los altos costos de establecimiento y producción de los viñedos de ‘Concord’, sumado a la caída de los precios de este tipo de uvas, hicieron necesario que los productores consideraran la mecanización de labores altamente demandantes en mano de obra, como la cosecha y la poda, para asegurar la sustentabilidad de la industria (Andersen et al., 1996).

La poda mecánica considera las diferentes técnicas y/o sistemas de poda que se realizan con implementos o equipos montados en tractor (Possingham, 1996). Estos implementos pueden ser accionados mecánica, hidráulica o eléctricamente. Los diferentes tipos de poda mecánica varían, fundamentalmente, en la intensidad o severidad de los cortes, es decir, en la longitud del material retenido por la planta después de que la máquina realiza su labor, existiendo podas mecánicas que van desde muy severas hasta muy ligeras, o prácticamente “cero poda”. Sin embargo, todas coinciden en que retienen un mayor número de yemas comparado con podas manuales tradicionales (Martínez de Toda, 1991).

Si bien la ausencia de poda no se puede considerar un sistema de poda como tal, y mucho menos un sistema de poda mecánica, las respuestas fisiológicas que produce en la vid se pueden asemejar a las producidas por sistemas de poda mecánica extremadamente ligera (Clingeffer y Krake, 1992). Debido a esto, en la presente investigación se hace mención a sistemas de cero poda, para marcar una referencia de lo que podría significar el conducir una poda ligera al extremo.

La diferencia en cuanto a severidad es bastante evidente al comparar sistemas de poda tradicional y poda mecánica. Así, a pesar de que los sistemas de poda varían de acuerdo al país, región y variedad, la poda manual tradicional es considerada severa y suele remover entre el 85-90% del crecimiento anual de la vid (Winkler et al., 1974; Clingeffer, 1984), en contraste con la cantidad de madera removida en invierno, en plantas sometidas a poda mecánica ligera (poda mínima), lo cual alcanza entre 10-15% del total de la planta (Clingeffer, 1984).

Si bien los equipos de poda mecánica han sido adaptados a distintos sistemas de conducción, como *California Sprawl* (Dokoozlian, 2013), GDC (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993) y otros (Clingeffer, 2013), en la actualidad, los sistemas de conducción con posicionamiento vertical de brotes son los más utilizados al momento de implementar algún tipo de poda mecánica en vides, por lo que la maquinaria contemporánea se ha

especializado para trabajar en este tipo de viñedos (Dokoozlian, 2013). Con el pasar de los años, este sistema de poda se extendió a otras especies del género *Vitis*, con particular énfasis hacia *Vitis vinifera*. Así, la poda mecánica en esta especie ha sido implementada y/o evaluada en diversas variedades, distintos sistemas productivos (uva de mesa y producción de vino) y en países como Italia, Francia, Portugal, España, Alemania, Canadá y Australia (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993; Lopes et al., 2000; Clingeffer, 2013).

Inicialmente, a pesar de los diversos estudios realizados para desarrollar, introducir y promover la poda mecánica en Washington su implementación fue parcial, debido a que los productores tendían a utilizar la maquinaria de poda para realizar una “pre-poda”, a lo cual le seguía un repase manual intenso, cuyo propósito era ajustar la cantidad de yemas por planta a la de una poda manual tradicional (Keller et al., 2004), perdiéndose el objetivo de la poda mecánica (Martínez de Toda, 1991) y persistiendo, así, la poda manual como una práctica común, a pesar de los altos costos y gran necesidad de mano de obra en comparación con una poda completamente mecanizada (Keller et al., 2004). Esto puede ser visto incluso en la actualidad, ya que en Italia, luego de más de 40 años de pruebas, existen localidades donde la poda mecánica es aún parcial, incluyendo una finalización con poda manual (Caprara y Pezzi, 2013).

La persistencia de la poda manual como práctica complementaria puede explicarse debido a que algunos de los primeros estudios de poda mecánica (Morris et al., 1975; Morris y Cawthon, 1981) mostraron tendencias al aumento del rendimiento con posterior decaimiento productivo, obteniendo, en algunos casos, menor rendimiento que vides podadas tradicionalmente y, además, sin poder alcanzar los estándares mínimos de calidad de fruta en términos de madurez y contenido de azúcar. Esta situación evidenció un desequilibrio en las plantas podadas mecánicamente (Morris y Cawthon, 1981). Experiencias como estas generaron una desaceleración en la carrera por implementar la poda completamente mecanizada (sin repase manual) (Dokoozlian, 2013). No obstante, cabe mencionar que los estudios realizados en aquellos años no consideraban la cantidad de factores que estudios más recientes, por lo que los resultados desfavorables pueden deberse a interacciones entre la poda mecánica y otros factores, de tipo ambiental, genético o de manejo, y no necesariamente al efecto individual de la poda mecánica (Possingham, 1996; Keller et al., 2004). Adicionalmente, Dokoozlian (2013) afirma que los primeros viñedos en los que se implementó la poda mecánica eran viñedos de bajo potencial productivo y comercial, de los cuales se obtenía uva a granel de baja calidad y, principalmente, para jugo concentrado, lo que podría contribuir a explicar el fracaso de los primeros intentos de mecanizar la poda. Años más tarde surgieron nuevos estudios que fueron clave en la expansión de la poda mecánica y su validación en términos prácticos y comerciales. Un ejemplo de lo anterior es el caso de Keller et al., (2004), quienes estudiaron el comportamiento de vides ‘Concord’, la misma variedad estudiada por Morris y Cawthon (1981), sin observar decaimiento productivo ni reducción significativa en la calidad de uvas provenientes de plantas podadas mecánicamente, aun cuando el número de nudos retenidos por planta fue hasta tres veces superior (260 nudos/planta) a aquellas podadas en forma tradicional. Estos resultados sugieren que, además de la definición puntual de los tratamientos de poda mecánica, se tuvieron las consideraciones necesarias para que la planta no cayera en un desequilibrio entre crecimiento vegetativo y producción de fruta,

evitando así una sobrecarga frutal que impida conducir la fruta a una adecuada madurez (Martínez de Toda, 1991; Clingeleffer, 2013).

Balance y adaptación a la poda mecánica

La incertidumbre respecto a la correcta forma de abordar la poda mecanizada y los posibles problemas de adaptación que podrían manifestar las vides sometidas a esta técnica son las razones por las que muchos productores se han resistido a incorporar la poda mecánica como práctica regular en sus viñedos (Keller et al., 2004).

La principal aprensión ante la implementación de la poda mecánica es la gran cantidad de yemas retenidas por planta y su difícil control, lo que podría conducir a problemas de adaptación, tales como producciones excesivas y alternadas, reducción general de la calidad de la fruta, menor resistencia invernal a bajas temperaturas, decaimiento del viñedo y aumentos en la presencia de enfermedades de la madera, debido a su envejecimiento (Keller et al., 2004). Adicionalmente, se han reportado daños mecánicos producidos por el paso de la maquinaria de poda (Caprara y Pezzi, 2013).

Se considera que la vid se ha adaptado correctamente a la poda mecánica cuando la calidad de la uva no empeora significativamente, respecto a la calidad obtenida mediante poda manual convencional, es decir, cuando la poda mecánica logra mantener o mejorar la calidad obtenida mediante poda manual. Desde el punto de vista fisiológico, esta adaptación se alcanza cuando las vides podadas mecánicamente logran un balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, es decir, entre brotes y fruta, generando suficiente (pero no excesiva) área foliar fotosintética para conducir la fruta a una madurez deseada y proveer de reservas a las estructuras permanentes de la vid (Keller et al., 2004). Este balance, y en consecuencia la adaptación de la vid a la poda mecánica, depende primeramente de la capacidad que tenga la planta de autorregular el rendimiento, dado la mayor cantidad de yemas retenidas respecto a la poda manual (Gatti et al., 2011).

La autorregulación del rendimiento normalmente se manifiesta como una reducción de las tasas de brotación (Studer et al., 1980; Poni et al., 2004), número de racimos por brote (Martínez de Toda y Sancha, 1999), cuaja (Jackson et al., 1984), peso de racimo y peso de bayas (Freeman y Cullis, 1981; Intrieri et al., 1988). Incluso puede producirse el fenómeno de “auto-poda”, es decir, abscisión de madera que no alcanzó a madurar durante el período de crecimiento (Tassie y Freeman, 1992).

Luego, si al podar mecánicamente se produce una “suficiente” autorregulación o compensación de rendimiento, y a esto se suma un aumento de la eficiencia del follaje por medio de una formación más temprana de la copa y una mayor área foliar total, producto del aumento en el número de brotes, entonces, esta técnica de poda puede entregar similares o incluso mayores rendimientos que la poda manual, manteniendo inalterada la composición de la fruta (Morris y Cawthon, 1981; Zabadal et al., 2002; Keller et al., 2004) y con una reducción de costo de, al menos, un 50%, pudiendo llegar hasta un 85% (Morris, 1993; Intrieri y Poni, 1995; Possingham, 1996).

Adicionalmente, debido al aumento del número de brotes en plantas podadas mecánicamente, el vigor de cada brote tiende a disminuir, promoviendo la acumulación de sólidos solubles en la baya después de envero, como resultado de una menor competencia por parte de la fracción vegetativa de la planta, lo que puede contribuir a mantener la calidad de la uva y del vino (Morris, 1993; Intrieri y Poni, 1995).

No obstante el gran potencial de la poda mecánica en cuanto a reducción de costos y menor necesidad de mano de obra calificada, las distintas experiencias registradas en la literatura destacan que este balance no es fácil de alcanzar, debido a los múltiples factores ambientales, fisiológicos y de manejo que interactúan de forma muy estrecha, generando un efecto colectivo sobre la calidad de la fruta y del vino. Entonces, si bien existen varios estudios que han demostrado que la poda mecánica produce aumentos en rendimiento y número de brotes por planta, con frecuente disminución en el vigor de brotes, el peso de racimo, el número de racimos por brote, el número de bayas por racimo, el tamaño de bayas, el pH y la concentración de sólidos solubles, es importante considerar que los resultados varían, por lo que no solo basta con entender la técnica misma de los distintos sistemas de poda mecanizada, sino que también las condiciones de manejo y el entorno al que estará sometido el viñedo. La importancia de comprender el efecto de estos factores incrementa en la medida que la poda es menos severa y la planta se acerca a su máximo potencial productivo, ya que aumenta la posibilidad de caer en un desbalance que deteriore la calidad de la fruta (Antcliff, 1965; Reynolds, 1988; McCarthy y Cirami, 1990; Reynolds y Wardle, 1993; Possingham, 1996; Poni et al., 2004).

Principales factores que afectan el balance y adaptación a la poda mecánica

Clima. El clima juega un importante rol en determinar la factibilidad de adaptación de las vides a la poda mecánica (Possingham, 1996), ya que es un factor modulador sensible del comportamiento de la planta. Antcliff (1965), por ejemplo, observó que la producción anual alternada está influenciada fuertemente por el clima y, en ocasiones, puede ejercer un efecto más fuerte que el que genera la sobrecarga frutal.

Keller (2010, citado por Dai et al., 2011) señala que los factores medioambientales (temperatura, luz, disponibilidad de agua, etc.), junto a las prácticas culturales, producen diferencias entre bayas de un mismo racimo, entre racimos de una misma vid y entre vides de un mismo viñedo. Possingham (1996) indica, a su vez, que estas diferencias afectan la calidad de prácticamente todos los sistemas de producción de uva, incluidos los viñedos podados mecánicamente.

Generalmente, en situaciones con alto potencial de desarrollo, como son las áreas regadas y cálidas, la autorregulación de las vides podadas mecánicamente no merma la capacidad de la planta ni la calidad del vino (Tassie y Freeman, 1992), sin embargo, en presencia de factores limitantes del crecimiento, y/o estreses ambientales naturales o artificiales, la poda completamente mecanizada y, por lo tanto, el incremento en la cantidad de yemas por planta, tiende a retrasar la madurez de la baya y reducir el almacenaje de fotoasimilados en brotes y estructuras permanentes (Carbonneau y Zhang, 1988, citado por Lopes et al.,

2000). A su vez, Possingham (1996) indica que los sistemas de poda ligera suelen manifestar problemas de adaptación en áreas que combinan altas temperaturas y abundante pluviometría estival, ya que se produce un crecimiento vegetativo continuo que dificulta el manejo del viñedo, pudiendo afectar la calidad de la uva y del vino. El mismo autor señala que, en regiones templadas (II y III en escala de Winkler), ciertos tipos de vid logran adaptarse incluso a podas muy ligeras, debido a que el aumento en la carga frutal puede contribuir a controlar el vigor y mejorar la exposición de racimos. Keller et al. (2004), por su parte, señalan que plantas podadas mecánicamente se pueden adaptar correctamente, tanto en temporadas cálidas como frías, con sólo leves diferencias en la fecha de cosecha. Por otro lado, Santibañez et al. (1989) señalan que en climas más frescos deben seleccionarse variedades menos vigorosas, más precoces y orientadas a la producción de vinos secos y ácidos, de lo contrario puede perjudicarse la calidad del vino, lo que puede verse acentuado con el mayor rendimiento que generan las podas mecánicas.

Variedad y diferencias clonales. La variabilidad es una propiedad intrínseca a todo sistema biológico y particularmente en la producción de uva, debido a la gran diversidad genética dentro del género *Vitis*, donde es posible encontrar viñedos de diferentes especies, variedades y clones (Dai et al., 2011).

En la búsqueda del balance y, por lo tanto, de la adaptación a la poda mecánica, se pueden constatar diversas experiencias que muestran la complejidad detrás de esta búsqueda y la variedad de respuestas al interactuar con los múltiples elementos del entorno, y particularmente con las diferencias genéticas de la vid. Es así como Poni et al. (2004) sugieren al genotipo como un factor modulador, incluso más sensible que las condiciones ambientales, de la respuesta a la poda mecánica en el largo plazo.

Hay experiencias que dan cuenta de lo anterior, al reportar diversos grados de adaptación a la poda mecánica dependiendo de la variedad e incluso del clon utilizado. Es así como se encuentran resultados desde satisfactoria a excelente adaptación de la variedad Garnacha (Studer et al., 1980; Martínez de Toda y Sancha, 1999) y de buena adaptación en ‘Malbec’ y ciertos clones de ‘Riesling’ y ‘Semillon’ (McCarthy y Cirami, 1990). Este último estudio también reveló que ‘Syrah’ responde desfavorablemente a la poda mecánica muy ligera, ya que sin evidenciar aumentos significativos en el rendimiento, se observó un retraso en la maduración, causado por una reducción significativa en la concentración de sólidos solubles de las uvas. Los autores sugieren que la causa de esta respuesta puede estar vinculada a una selección de material genético con potencial base limitado y a la necesidad de incrementar el riego, fortaleciendo así la idea de que los factores genéticos y ambientales son moduladores gravitantes en la respuesta de las plantas a distintos manejos de poda mecánica.

Otros trabajos han mostrado que híbridos de alta fructificación (Pool et al., 1988; Fisher et al., 1997) y algunas variedades de *Vitis vinifera* (Carboneau y Zhang, 1988; Di Collalto et al., 1988) presentan dificultades para adaptarse a la poda mecánica, debido a que tienden a manifestar excesos de carga, con la consecuente pérdida de calidad de la fruta. Una de estas es ‘Sangiovese’, la cual, debido a la alta fertilidad de sus yemas basales, suele presentar insuficiente capacidad de autorregular su carga frutal y requiere ajuste de carga adicional a la poda mecánica (Di Collalto et al., 1998; Intrieri et al., 2001). Pool et al. (1993) confirman

que en variedades de alta fructificación basal se dificulta el control de la carga frutal, por lo que usualmente debe ser ajustada posteriormente, especialmente en climas fríos, de lo contrario pueden manifestar síntomas de sobrecarga. Señalan, además, que la tendencia a producir en exceso se debe a que este tipo de vides son originarias de regiones cálidas y con periodos de crecimiento más prolongados, lo que les permite alcanzar madurez con producciones mayores. A su vez, Intriery et al. (1988) sugieren que una “no muy elevada” fertilidad de yemas basales, puede ser una característica positiva para regular la carga frutal bajo régimen de poda mecánica. A pesar de lo anterior, Caprara y Pezzi (2013) demostraron que a través de una poda mecánica cuidadosa, se duplicó el número de yemas en vides ‘Sangiovese’ sin aumentar su rendimiento, demostrando así su eventual capacidad de ajustar la carga frutal.

Intriery y Poni (2000) señalan que en variedades de baja a moderada fertilidad de yemas basales, podadas normalmente en cargadores, la poda mecánica se ve obstaculizada, ya que, dependiendo del largo y de la posición del cargador, se pueden causar desbalances en el crecimiento de brotes, lo cual puede resultar en una maduración desuniforme de la fruta.

Portainjerto. Possingham (1996) señala que los portainjertos presentan diferencias que pueden afectar la adaptación a la poda mecánica al influenciar la calidad de la uva y del vino. Explica, además, que los portainjertos tienen un efecto directo al influenciar la absorción de iones, como el potasio, e indirecto al influenciar en el vigor de la planta. Por ejemplo, el portainjerto Ramsey (*Vitis champinii*), a pesar de tener una excelente resistencia a ciertos parásitos y tolerancia a la salinidad, en muchas variedades tintas incrementa el contenido de potasio a niveles demasiado altos, otorgándole altos niveles de pH al vino y disminuyendo fuertemente su calidad. No obstante lo anterior, existen experiencias (Rousseau et al., 2013) que sugieren la posibilidad de compensar parcialmente este aumento de pH al realizar podas mecánicas muy ligeras. Otros estudios señalan que este mismo portainjerto, injertado con clones vigorosos de ‘Cabernet Sauvignon’ puede producir vides demasiado vigorosas, dificultando el manejo mediante podas mecanizadas ligeras o muy ligeras (Possingham, 1996).

Suelo. Suelos profundos, fértiles y con buena capacidad de retención de agua tienden a promover un alto crecimiento vegetativo en los meses de verano (en la medida que exista disponibilidad de agua), lo que puede conducir a que la gran cantidad de yemas retenidas bajo un sistema de poda mecánica se transforme en un follaje excesivamente vigoroso y sombrío, impidiendo que la fruta alcance una adecuada madurez (Possingham, 1996). El mismo autor señala que en suelos altamente fértiles es posible que los brotes ejerzan una fuerte competencia por recursos, dificultando el balance entre crecimiento y producción de fruta.

Carga frutal. Keller et al. (2004) indican que en años de excesiva carga frutal, plantas podadas en forma ligera pueden verse afectadas negativamente en términos de composición de la baya y lignificación de brotes. Esto último afectaría también el almacenaje de reservas y la resistencia al frío invernal. Los autores indican, además, que el ajuste de carga asociado

a un sistema de poda ligera sólo se justifica aquellos años en que la carga frutal se descontrola, siendo útil para equilibrar la planta. Adicionalmente, Possingham (1996) señala que los ajustes de carga pueden ser beneficiosos cuando la poda mecánica se realiza en climas fríos, donde se dificulta el proceso de maduración de las bayas y, por lo tanto, se arriesga la calidad del vino.

Sistema de conducción. Para la poda mecánica de vides de hábito de crecimiento descendente, Shaulis et al. (1973) y Pollock et al. (1977) recomendaban el uso de los sistemas *Hudson River Umbrella* (HRU) y doble cortina de Geneva (GDC), dependiendo de si el vigor era moderado o alto, respectivamente. Posteriormente, se desarrolló la poda mecánica de vides conducidas en sistemas de posicionamiento vertical (ascendente) de brotes, lo cual se extendió a diferentes especies del género *Vitis* y múltiples variedades (Clingeffer y Krake, 1992; Dokoozlian, 2013). Morris (1985) afirma que los sistemas de conducción en cordón son esenciales para la implementación de poda mecánica; el sistema de cordón tiene la ventaja de que se adapta muy bien a los sistemas modernos de cosecha mecanizada, por lo que es una buena alternativa para viñedos con alto nivel de mecanización (Clingeffer y Krake, 1992; Dokoozlian, 2013).

Si bien existen múltiples variables a considerar para alcanzar una correcta adaptación a los distintos tipos de poda mecánica, y a pesar de que aún existen regiones que se resisten a implementar este sistema a cabalidad, la poda manual tradicional en pitón o cargador ha sido progresivamente reemplazada por algún sistema de poda mecánica debido a su bajo costo operativo. Los sistemas de poda mecánica más extendidos son la poda mecánica en seto y poda mínima; ambos sistemas son aplicados principalmente a vides formadas en cordón y han sido utilizados comercialmente tanto en regiones cálidas como frías. Estos dos sistemas de poda ligera ofrecen un futuro promisorio para la producción de vino, ya que se adaptan correctamente a la cosecha mecanizada, reducen los costos, optimizan la producción y pueden ser utilizados para controlar el exceso de vigor (Clingeffer y Krake, 1992).

Tipos de poda mecánica

Poda en seto (*box-hedge pruning*)

La poda mecánica en seto o *box-hedge pruning* surge como una forma económica de emular la poda manual tradicional, es decir, mediante el uso de maquinaria asemejarse lo más posible al resultado de una poda manual. De este modo, los esfuerzos iniciales de poda mecánica buscaron igualar la cantidad y posición de yemas retenidas que se alcanzan con podas manuales (Clingeffer y Krake, 1992; Pool et al., 1993). Sin embargo, con el paso de los años, el objetivo de la poda mecánica fue alejándose de los principios de la poda manual y se enfocó en identificar un método productivo que combine eficiencia económica, incrementos en el potencial productivo (carga frutal) y, en algunos casos, incrementos en la calidad de la fruta (Pool et al., 1993).

En la poda mecánica en seto, al igual que en todos los sistemas de poda ligera, el número de yemas retenidas es mucho mayor que en la poda manual tradicional, no obstante, se intenta que el número de bayas no sobrepase el nivel máximo compatible con las posibilidades de la variedad (Martínez de Toda, 1991).

El seto se obtiene al podar en el plano vertical por ambos lados y horizontal por arriba. El resultado es un seto de madera de diferentes edades y con un número variable de pitones de diversa longitud y ubicación. La severidad de la poda en seto es variable y se mide a través del número de yemas retenidas por planta. En general, el nivel de severidad de la poda mecánica en seto se encuentra en un rango que va de 120 a 500 yemas por planta (Clingeffer, 2013). El repase manual, aunque algunos autores lo consideran innecesario, se utiliza ocasionalmente para ajustar carga y eliminar sarmientos que no fueron podados; su intensidad es variable (Possingham, 1996).

A pesar de que normalmente la forma del seto es rectangular, se han realizado pruebas con setos cuadrados, triangulares y rectangulares desplazados; estos últimos como una posible estrategia de renovación de madera (Freeman y Cullis, 1981).

Para ejecutar los cortes se utilizan equipos que pueden ser montados en tractores o cosechadoras reacondicionadas y, en la actualidad, la gran parte de ellos están diseñados para trabajar en sistemas de conducción con posicionamiento vertical de brotes (Clingeffer y Krake, 1992; Dokoozlian, 2013). Estos equipos pueden ser barras de corte o segadoras con efecto de cizalla, sierras dentadas de alta revolución, discos lisos para cortes de alta precisión y discos con efecto de cizalla montados en cilindros rotativos de baja revolución (Possingham, 1996; Clingeffer, 2013).

Para lograr que la vid se adapte a la poda mecánica en seto, este manejo se debe reiterar todos los años, con el fin de que la planta inicie un proceso de autorregulación del rendimiento, lo que conducirá a que, luego de un cierto número de temporadas, la vid no produzca una carga frutal excesiva y así se pueda obtener una buena calidad y producción todos los años (Martínez de Toda, 1991). Este autor señala que si la poda mecánica es muy ligera, y se deja un número de yemas muy elevado, el primer año se obtendrá una producción excesiva, que no madura bien. Además, puede generar un agotamiento de la planta y, si esta práctica se reitera año tras año, el rendimiento se reduce, ya que la fertilidad de los brotes y el tamaño de los racimos disminuyen como consecuencia del menor vigor de los brotes. Debido a esta reducción progresiva del rendimiento, la cual tiende a ser a tasa decreciente, hasta estabilizarse, se pueden alcanzar producciones similares a las obtenidas con poda tradicional, pero depende de la capacidad de autorregulación de la planta y de cada situación específica (Martínez de Toda, 1991).

Grandes esfuerzos se han realizado en los últimos 30 años para estudiar cómo variedades establecidas en diversas condiciones ambientales se pueden adaptar a diferentes variantes de poda mecánica en seto, tales como: diferentes largos de poda, presencia o ausencia de repase manual, diferentes formas de seto, etc. (Poni et al., 2004).

Poda mínima (*minimal pruning*)

El concepto de poda mínima tiene su origen en los estudios clásicos que realizaron Winkler et al. (1974), quienes observaron que la ausencia de poda maximiza la producción, pero requiere algún tipo de ajuste de carga para optimizar la calidad (Lakso et al., 1996).

La poda mínima es una tecnología de manejo de vides, desarrollada en Australia el año 1983 por Peter Clingeleffer, con la finalidad de reducir los altos costos de producción mediante una fuerte reducción de la poda invernal (manual) (McCarthy y Cirami, 1990; Possingham, 1996). La cantidad de yemas retenidas en este sistema de poda es variable, no obstante, a partir de las experiencias descritas en la literatura se puede hablar de un rango que comprende entre 650 (Intrieri, 2011) y 1.500 (Clingeleffer, 2013) yemas por planta.

Clingeleffer (1996) señala que vides (*Vitis vinifera*) sometidas a poda mínima tienen la capacidad de mantener la forma, productividad y calidad de la fruta a través de crecimiento equilibrado y mecanismos de autorregulación.

En general, las vides podadas mínimamente son formadas entre 1,4 y 1,8 m de altura, desde donde emergen los brazos que pueden ser formados bilateral o cuadrilateralmente. Si bien se han desarrollado distintos sistemas de conducción para vides podadas mínimamente, el sistema más común en la actualidad es el de posicionamiento vertical de brotes, con un solo alambre frutal y copa libre (Clingeleffer, 1984; McCarthy y Cirami, 1990; Possingham, 1996).

Una vez establecida la arquitectura básica de la planta, los sarmientos se intervienen únicamente para evitar que entren en contacto con el suelo, para facilitar el manejo posterior. Esta intervención puede ser mediante una reubicación manual de sarmientos colgantes, dentro de la zona productiva de la planta, no obstante, lo más común es realizar “faldeo invernal”, que consiste en una poda rápida y muy ligera de sarmientos que se dirigen hacia el suelo. Esta poda generalmente se realiza a 50 cm bajo el alambre frutal y preferentemente en forma mecanizada (Clingeleffer, 1984; Possingham, 1996).

La intervención de estos sarmientos, ubicados en la sección inferior de los brazos y orientados hacia el suelo, es importante para evitar la producción de racimos bajos, difíciles de cosechar, pobremente expuestos a la luz y, posiblemente, de baja calidad. Por otro lado, es esencial no podar ningún tipo de crecimiento vertical, ya que esto puede gatillar una fuerte respuesta en términos de crecimiento vegetativo, dando origen a brotes vigorosos y difíciles de manejar (Possingham, 1996).

En sistemas de poda mínima, con vides formadas en cordón, la producción de racimos se concentra en los crecimientos verticales, cortos, que se encuentran en la sección superior de la planta. A medida que avanza la temporada, estos brotes se arquean debido a su propio peso y al de los racimos que portan. De este modo, las yemas basales quedan expuestas, lo que favorece su brotación y, por lo tanto, la formación de nuevos brotes cortos, potencialmente productivos y bien ubicados (Possingham, 1996).

Si se desea ejercer algún tipo de control de carga frutal, el faldeo invernal contribuirá en alguna medida, no obstante, también se puede realizar poda en verde inmediatamente después de cuaje. Esta labor es similar al faldeo invernal y su intensidad dependerá del nivel de reducción de carga deseado (Possingham, 1996).

Possingham (1996) señala que la poda mínima fue desarrollada para zonas de clima cálido y de veranos secos. Bajo esas condiciones, las vides alcanzan un alto grado de autorregulación de su carga frutal y requieren sólo un leve faldeo, que se utiliza más bien con el fin de mantener la forma de la planta que para regular la carga frutal. En estas localidades, el vigor tiende a ser acotado, debido a las bajas precipitaciones estivales y a la posibilidad de regular la disponibilidad hídrica mediante riego, controlando así, el crecimiento de la planta. De este modo, producciones establecidas en zonas de climas mediterráneos y bajo condiciones de riego, permiten que la carga frutal se sintonice correctamente con el vigor de las plantas, siendo posible constatar experiencias de adecuada adaptación a la poda mínima y observarse sólo leves retrasos en la maduración de las bayas, los cuales, generalmente, no tienen impacto comercial. El mismo autor indica que, en áreas de clima frío, la adaptación de vides a la poda mínima es más difícil de conseguir, debido a la mayor disponibilidad de agua, lo que conduce a aumentar el vigor de las plantas. Dependiendo de la variedad, esta situación puede resultar en un exceso de vigor, sobrecarga frutal y retrasos importantes en la madurez de la fruta. En general, existe consenso (Possingham, 1996; Schwab, 2005) en que el retraso en la madurez puede reducir la calidad de la fruta a cosecha y, particularmente, en variedades de maduración tardía. Ante esta situación es común el empleo de faldeo invernal adicional, para ajustar de carga frutal y mejorar la calidad de la fruta y del vino (Possingham, 1996). El mismo autor señala que algunas alternativas de ajuste de carga frutal son: faldeo con recorte lateral de sarmientos, despunte en verde y raleo de fruta postcuaje.

Sumado a los beneficios económicos de la reducción de costos de producción, la escasa intervención que ofrece la poda mínima permite a cada planta de vid ejercer su máximo potencial productivo (McCarthy y Cirami, 1990).

Aunque, originalmente, se asoció a variedades vigorosas (Thompson Seedless para producción de pasas) en regiones cálidas y regadas, actualmente la poda mínima se ha extendido con buenos resultados a variedades tradicionales viníferas, como Cabernet Sauvignon, Riesling, Malbec, Semillon, entre otros, y a diversos clones (Clingeffer, 1988; McCarthy y Cirami, 1990). Adicionalmente, ha sido adaptada a regiones frías con distintos tiempos de maduración y diferentes condiciones de vigor (Clingeffer, 1988; Possingham, 1996). En la actualidad, el término más usado para referirse a este sistema es: *minimal pruned cordon trained vines* o MPCT (Clingeffer, 1988; Possingham, 1996).

La poda mínima ofrece un escenario interesante para la producción de uva para vino, ya que se acomoda a la cosecha mecánica, disminuye los costos de poda, maximiza la producción y puede ser utilizada para el control de vides con vigor excesivo. No obstante, este llamativo panorama sólo es practicable en la medida que se obtenga la calidad requerida a cosecha, para lo cual podrían existir otras consideraciones (Clingeffer y Krake, 1992; Possingham 1996).

Otros acercamientos de poda mecánica

Si bien la poda mecánica en seto y la poda mínima son los sistemas de poda mecánica más estudiados, existen otras alternativas que pueden contribuir a la mecanización, parcial o total, de la poda. Existen experiencias que mencionan la viabilidad de implementar la poda mecánica en cargador, para sistemas de conducción como Guyot o Sylvoz, mediante la utilización de máquinas que toman el sarmiento por su extremo distal y lo arrancan, sin embargo, este sistema tiene sus limitaciones y no ha sido ampliamente desarrollado. Adicionalmente, no se puede considerar una poda ligera, por lo que la respuesta fisiológica de la planta será la de una planta sometida a poda tradicional (Clingeffer, 2013).

Intrieri et al. (2011) indican que otro sistema de poda mecánica alternativo es el *semi minimal-pruned hedge* o SMPH. El SMPH se describe como un sistema de conducción de posicionamiento vertical de brotes en el que los cargadores van estableciendo pisos que, después de algunas temporadas, forman una pared de madera con centros productivos distribuidos en altura. Luego, esta pared se poda verticalmente, muy cerca del centro de la planta, y es la altura de la pared la que produce el principal aumento de yemas. Los autores señalan que este sistema fue desarrollado con el fin de mantener la eficiencia de la poda mecánica, estableciendo un nivel de severidad intermedio. De este modo, se reduce la cantidad de yemas respecto a la poda mínima, alcanzando valores cercanos a 300 yemas por planta, logrando, así, una carga frutal equilibrada, con la capacidad de producir racimos sueltos con menos susceptibilidad a botritis.

La poda mecánica y su efecto en el crecimiento vegetativo y distribución de madera frutal

Poda en seto

La poda mecánica en seto tiene un importante impacto en el desarrollo vegetativo de las vides, ya que siempre deja una mayor cantidad de yemas retenidas que la poda manual (Intrieri et al., 1988; Martínez de Toda, 1991). Este aumento altera el desarrollo vegetativo de la vid y la intensidad de este efecto dependerá, en primera instancia, de la severidad de la poda, es decir, de cuán drástico es el aumento en la cantidad de yemas retenidas, lo cual se relaciona directamente con la distancia entre el implemento de poda y el cordón (Dokoozlian, 2013); en segunda instancia, depende de la capacidad que tenga la planta para reaccionar a este estímulo y gatillar mecanismos fisiológicos compensatorios (Intrieri et al., 1988). De los diversos efectos compensatorios, el de mayor impacto en el desarrollo vegetativo es la reducción de las tasas de brotación (Intrieri et al., 1988; Poni et al., 2004; Gatti et al., 2011).

Cabe señalar que Keller et al. (2004) estudiaron distintos tipos de poda mecánica durante cinco años y, si bien notaron una gran influencia de las condiciones ambientales de cada temporada sobre las diferencias en los resultados obtenidos de un año a otro, son claros al indicar que: “dada una condición ambiental particular dentro de una temporada, las

diferentes técnicas de poda tienen un gran efecto sobre las respuestas fisiológicas relacionadas con crecimiento y producción de las vides”.

En comparación con vides podadas manualmente en forma convencional, vides podadas mecánicamente, en general, muestran un aumento en el número de nudos o yemas por planta (Freeman y Cullis, 1981; Poni et al., 2004; Gatti et al., 2011; Caprara y Pezzi, 2013) y número de brotes por planta (Freeman y Cullis, 1981; Reynolds, 1988; Poni et al., 2004; Cruz et al., 2011; Tomasi et al., 2013). Por el contrario, muestran una reducción en el porcentaje de brotación (Freeman y Cullis, 1981; Keller et al., 2004; Poni et al., 2004; Gatti et al., 2011), el tamaño individual de los brotes (Freeman y Cullis, 1981; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Keller et al., 2004; Gatti et al., 2011; Tomasi et al., 2013) y el número de brotes que alcanzan la madurez (Freeman y Cullis, 1981). Diversos autores señalan, además, que la disminución del tamaño o peso individual de los brotes se debe a un efecto combinado de una menor cantidad de nudos y entrenudos más cortos (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993; Lopes et al., 2000). También han sido reportadas disminuciones en el área foliar individual de los brotes primarios y reducción en la proporción de brotes laterales o secundarios (Lopes et al., 2000; Poni et al., 2004).

Keller et al. (2004) afirman que existe una clara correlación negativa entre el incremento de yemas por planta y el porcentaje de brotación, no obstante, también señalan que existe una fuerte correlación positiva entre número de yemas contabilizadas (retenidas en la poda) y el número de brotes totales de la vid, sugiriéndose que la respuesta compensatoria de la planta ante el aumento del número de yemas es parcial. A partir de lo anterior, se deduce que el número final de brotes por planta tiende a ser mayor bajo sistemas de poda ligera, pero, a su vez, está en función de la interacción entre la cantidad de yemas retenidas y la magnitud del efecto compensatorio. La magnitud de este efecto puede variar bastante, siendo posible observar distintos niveles de compensación en la literatura. Se pueden encontrar experiencias de leves niveles de compensación, como el caso Keller et al. (2004), quienes observaron que, vides Concord conducidas en GDC y podadas ligeramente, en ciertos años, a pesar de que la reducción en el porcentaje de brotación no superó el 10%, lograban duplicar la cantidad de yemas retenidas. También se pueden encontrar casos de fuertes grados de compensación, en que la poda mecánica redujo el porcentaje de brotación en cerca de un 40% (Poni et al., 2004) o, el caso de Gatti et al. (2011), en que la diferencia en cantidad de yemas por planta fue de un 100%, pero la diferencia en la cantidad de brotes totales, fue solo un 20% superior en vides podadas mecánicamente, lo que muestra un claro y fuerte efecto de compensación. También se puede analizar la experiencia de Martínez de Toda y Sancha (1999), que, al comparar poda manual a 14 nudos por planta (siete pitones de dos yemas) y mecánica simulada (pitones de tres y cinco nudos), durante 10 años de estudio, notaron que al tercer año las plantas sometidas a poda mecánica simulada presentaban, en promedio, 3,4 veces más nudos retenidos que las plantas podadas manualmente, sin embargo, los brotes contabilizados posteriormente sólo duplicaban el número de brotes presentes en plantas podadas manualmente. Esto se produjo debido a un menor porcentaje de brotación (73%) respecto al de plantas podadas manualmente (115%), como respuesta compensatoria al alto número de yemas retenidas en la poda mecánica. Cabe aclarar que más de un 100% de brotación se explica por brotaron de posiciones o yemas no contabilizadas.

Reynolds y Wardle (1993), a partir de sus estudios en poda mecánica en la variedad Okanagan Riesling, destacan que buena parte del aumento en el número de brotes puede originarse debido a brotes ubicados en posiciones no consideradas al momento de contabilizar las yemas que deja la poda mecánica. Estas posiciones no consideradas pueden ser yemas latentes ubicadas en madera de distintas edades, pero la gran mayoría son yemas basales de los cargadores o pitones que deja el equipo de poda mecánica. Keller et al. (2004) señalan que, si bien es posible observar un aumento en la brotación de yemas no consideradas en vides podadas mecánicamente, la magnitud de esta respuesta tiende a aumentar en la medida que la poda es más severa. Gatti et al. (2011), por su lado, observaron que los brotes provenientes de posiciones no consideradas pueden llegar a representar el 70% del total de yemas retenidas con poda manual convencional e indican, además, que en casos como estos se puede llegar a un 100% de brotación de las yemas basales, lo cual puede dificultar el control de la cantidad total de brotes. Los mismos autores señalan que la poda mecánica, al ser más larga o menos severa, reduce la tasa de brotación de las yemas basales, lo cual se puede asociar a un efecto acrotónico.

La disminución en la tasa de brotación puede producir una disminución en la cantidad de brotes por cada yema contabilizada. Gatti et al. (2011) lo demostraron en vides 'Barbera', al contar 3,5 brotes por yema con poda manual y, en el caso de poda mecánica con repase severo y ligero, de sólo 1,99 y 1,64, respectivamente. Adicionalmente, mediante análisis de regresión, determinaron que el límite hasta el cual esta variedad puede generar una respuesta compensatoria es de 25 yemas contabilizadas por planta, es decir, sobre esta cantidad la brotación no baja de 1 brote por yema.

Si bien la disminución de la tasa de brotación es considerado el principal efecto compensatorio al aumento del número de yemas retenidas en la poda mecánica (Gatti et al., 2011), existen otros efectos en el follaje que pueden actuar una vez que la respuesta de la brotación ha llegado a su límite, contribuyendo a la autorregulación del desarrollo vegetativo. Al respecto, diversos estudios demuestran que la poda mecánica induce a una reducción en el tamaño de las hojas (Lopes et al., 2000; Poni et al., 2004; Cruz et al., 2011), peso de brotes (Freeman y Cullis, 1981; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Keller et al., 2004; Gatti et al., 2011) y proporción de área foliar lateral (Lopes et al., 2000; Poni et al., 2004; Cruz et al., 2011). Así, Lopes et al. (2000) notaron que al podar mecánicamente las hojas redujeron su tamaño entre 12 y 14%. Poni et al. (2004) indican, además, que el tamaño de la lámina en hojas ubicadas en brotes primarios es proporcional a la severidad de la poda. Al analizar los brotes en forma individual, Martínez de Toda y Sancha (1999) encontraron que, en floración, los brotes de plantas podadas manualmente presentaron un área foliar cercana al doble del que se midió en plantas sometidas a simulación de poda mecánica, diferencia que aumentó a cosecha.

En cuanto al área foliar de brotes laterales, se ha encontrado que al aumentar la severidad de la poda, ya sea a través de poda manual o mecánica severa, se produce un mayor desarrollo de brotes laterales (Poni et al., 2004). Datos de los mismos autores muestran que la superficie foliar lateral alcanzó un 27% del área foliar total en tratamientos de poda severa, mientras que el tratamiento de poda más ligera mostró el menor desarrollo de área foliar lateral, alcanzando sólo un 19% del área foliar total. Adicionalmente, Cruz et al. (2011) compararon poda manual y mecánica en la variedad Alfrocheiro, observando que la

poda mecánica redujo el área foliar de brotes laterales en cerca de un 50%, mientras que el área foliar primaria de cada brote no fue afectada.

Algunos autores señalan que la mayor superficie foliar total, en combinación con la menor superficie foliar de cada brote y la menor superficie foliar lateral, dan cuenta de que la poda mecánica aumenta la capacidad (Gatti et al., 2011) y reduce el vigor de las vides (Freeman y Cullis, 1981; Gatti et al., 2011). Lo anterior sugiere que la poda mecánica en seto es alternativa de manejo válida, para aquellas variedades vigorosas cuyo manejo se dificulta al utilizar podas tradicionales.

Cabe señalar que algunos autores, como Keller et al. (2004), explican los mecanismos compensatorios en sentido opuesto, indicando que en realidad son las vides podadas severamente las que generan una respuesta por el hecho de contar con menor cantidad de yemas por planta. Estos autores sugieren que el mayor tamaño de brotes, de hojas y el mayor número de hojas por brote, asociados a este tipo de podas, son formas de responder ante el bajo número de brotes y, por lo tanto, un menor número de hojas por planta. A pesar de que esta visión tiene sentido, considerando que las vides en estado natural no se podan, en este estudio se considerará a la poda manual convencional como el punto de referencia y, por lo tanto, se analizarán las respuestas fisiológicas que se generen al disminuir la severidad de la poda.

A pesar de la gran cantidad de respuestas que parecen tener un impacto negativo en el área foliar total, el aumento del número de brotes producidos, generalmente muy superior a vides podadas manualmente, permite que las vides podadas mecánicamente alcancen un área foliar mayor o a lo menos similar al de aquellas podadas manualmente (Lopes et al., 2000). Cruz et al. (2011) mostraron que el área foliar total de vides podadas mecánicamente, prácticamente, cuadruplicó el área foliar de las plantas podadas manualmente, lo cual se debe principalmente al mayor número de brotes por planta. Martínez de Toda y Sancha (1999), al evaluar la evolución del área foliar a lo largo de la temporada, encontraron que la diferencia entre el área foliar total de vides podadas convencional y mecánicamente es dinámica, así, mediciones realizadas en floración muestran un área foliar total tres veces mayor en plantas podadas mecánicamente en comparación con aquellas podadas manualmente (7,58 m²/planta y 2,43 m²/planta, respectivamente), diferencia que se redujo levemente en el transcurso de la temporada, de tal modo que al medir el área foliar a cosecha, las plantas podadas mecánicamente sólo duplicaban el área foliar de las plantas podadas manualmente. Estos resultados coinciden con lo observado por Keller et al. (2004), quienes señalan que vides bajo régimen de poda mecánica o ligera generan una mayor superficie foliar total y más temprano en la temporada.

Al medir la densidad de follaje en ‘Okanagan Riesling’ (*Vitis* sp.), se determinó que plantas francas, con riego por aspersores, en British Columbia, Canadá, al ser podadas mecánicamente tienden a presentar menor densidad de follaje, respecto a plantas podadas manualmente (Reynolds, 1988). El mismo autor indica que a pesar de la alta producción de brotes, muchos de ellos eran relativamente cortos, lo cual propicia el desarrollo de follajes no excesivamente densos y con mayor exposición de fruta. Por el contrario, Cruz et al. (2011) compararon poda manual y mecánica en la variedad Alfrocheiro conducida en

cordón bilateral, encontrando un aumento de la densidad del follaje al podar mecánicamente; a pesar de lo cual, la diferencia en el número de racimos sombreados no fue estadísticamente significativa. Estos resultados contradictorios se pueden explicar por diferencias agroecológicas de cada estudio, ya que, como indican Tassie y Freeman (1992), el equilibrio entre vigor, temperatura y suministro hídrico son fundamentales para asegurar un crecimiento equilibrado del follaje, particularmente cuando se trata de poda mecánica. Keller et al. (2004) refuerzan este concepto, precisando que excesos de riego asociados a vides podadas mecánicamente pueden conducir a un cambio en el microclima del follaje (más sombreadamiento), debido a una mayor densidad de brotes y un crecimiento continuo de ellos a lo largo de la temporada, lo que podría reducir de calidad de la fruta e, incluso, generar problemas de maduración de brotes, reduciendo en el número de nudos lignificados por brote al entrar en otoño.

El efecto del follaje muy denso sobre la maduración de los brotes adquiere relevancia cuando reduce su resistencia invernal. En este sentido, Reynolds (1988) realizó un estudio de tres años con ‘Okanagan Riesling’ (*Vitis* sp.), de vigor moderado a alto, señalando que en aquellas vides podadas mecánicamente se produjo una reducción en la formación de peridermis durante el proceso de maduración de los sarmientos, en comparación con vides podadas manualmente. Esta reducción fue el resultado de una inhibición causada por los altos rendimientos con este sistema de poda y el sombreadamiento interno del follaje. Al comparar el daño invernal en vides podadas manual y mecánicamente no se encontraron diferencias significativas en el tronco y el cordón, sin embargo, se observó daño significativamente mayor en las yemas de plantas podadas mecánicamente respecto de su contraparte manual. Aun así, las consecuencias de este efecto fueron escasas y no impactó sobre la producción de brotes de la temporada siguiente.

Al comparar la actividad fotosintética de hojas individuales en vides podadas convencional y mecánicamente, Tomasi et al. (2013) notaron que las hojas de ‘Cabernet Sauvignon’ podadas manualmente presentaron una mayor capacidad inicial de asimilación de CO₂ (mol CO₂ m²/s), diferencia que fue disminuyendo a partir de enero. La diferencia inicial se puede explicar por el menor número de brotes por planta y el menor número de hojas por planta, lo que, según resultados obtenidos por Poni et al. (2008), conduce a un incremento de la eficiencia fotosintética por unidad de área foliar. Sin embargo, la misma comparación en ‘Pinot Gris’ no arrojó diferencias significativas en la tasa de asimilación de CO₂. Poni et al. (2004) sugieren que estos resultados demuestran la probable influencia de las características genéticas de la vid sobre su respuesta a un determinado sistema de poda y, por ende, a la implementación de sistemas de poda mecanizada. Tomasi et al. (2013) refuerza lo anterior al observar, que si bien las tasas de asimilación tienden a disminuir en forma natural en la medida que el follaje envejece, la reducción observada en el follaje de vides ‘Cabernet Sauvignon’ fue mucho más marcada que en ‘Pinot Gris’, independientemente del sistema de poda.

En un estudio realizado por Lopes et al. (2000), se evaluó la capacidad fotosintética de hojas adultas y expuestas de ‘Cabernet Sauvignon’, sin observar diferencias en la capacidad de asimilación entre tratamientos de poda manual y mecánica. A partir de estos resultados, se puede deducir que cuando no se manifiestan diferencias significativas en la capacidad de asimilación de hojas individuales, entre vides podadas manual y mecánicamente, y, a su

vez, las vides podadas mecánicamente presentan mayor área foliar, entonces, la capacidad de asimilación total será mayor en vides podadas mecánicamente (Clingeffer y Sommer, 1993).

Para analizar más a fondo la interacción entre la capacidad fotosintética y distintos sistemas de poda, Tomasi et al. (2013) compararon la concentración de clorofila (grado SPAD) en hojas de vides podadas en forma manual, mecánica o sin podar en 'Pinot Gris', y se observó que las diferencias significativas entre los tratamientos fueron claras y desde el inicio, con un menor contenido de clorofila en hojas de plantas sin podar, respecto a los otros dos tratamientos. En 'Cabernet Sauvignon' no se encontraron diferencias iniciales en el contenido de clorofila, pero al medir después de envero se observó un mayor contenido de clorofila en hojas de plantas podadas manualmente, seguidas por el tratamiento de poda mecánica y, finalmente, el tratamiento de plantas sin podar. La tendencia a presentar mayores concentraciones de clorofila en hojas de vides podadas en forma más severa podría explicar el aumento en la eficiencia fotosintética por unidad de área foliar descrito por Poni et al. (2004). A su vez, la mayor claridad en las diferencias observadas en 'Pinot Gris' pueden explicarse debido a que esta variedad mostró una gran capacidad de responder a podas ligeras, generando un mayor aumento en el número de brotes por planta, lo que posiblemente condujo a una mayor superficie foliar, reduciendo en forma más notoria el contenido de clorofila de las vides bajo régimen de poda ligera (mecánica).

La mayor superficie foliar de vides podadas mecánicamente logra interceptar mayor cantidad de luz solar en forma temprana, pero también incrementa las tasas transpiratorias (Keller et al., 2004). En general, la transpiración muestra una tendencia opuesta a la fotosíntesis, aumentando con el tiempo (Tomasi et al., 2013). Las plantas podadas mecánicamente muestran las mayores tasas transpiratorias durante gran parte del período, tendencia que se ha observado en variedades como Cabernet Sauvignon, Concord y Alfrocheiro (Keller et al., 2004; Cruz et al., 2011; Tomasi et al., 2013).

Tomasi et al. (2013) observaron que cuando las vides no se someten a ningún tipo de poda, tienen una mayor conductancia estomática, es decir, transpiran más ante una similar capacidad de asimilación comparado con vides podadas mecánica y manualmente, lo cual indica una menor eficiencia del uso del agua. Los autores indican además, que en el caso de la poda mecánica en seto, si bien las tasas transpiratorias son generalmente mayores que en vides podadas en forma convencional, existen diferencias varietales o genéticas que pueden conducir a resultados distintos en términos de transpiración, asimilación y eficiencia del uso del agua ante los mismos tratamientos de poda mecánica.

Si bien no hay datos contundentes que demuestren que vides podadas mecánicamente manifiestan reducciones de potencial hídrico, existen experiencias que muestran esa tendencia. Lopes et al. (2000), por ejemplo, indican que el potencial hídrico de vides 'Cabernet Sauvignon' podadas mecánicamente presentaron un menor potencial hídrico foliar en envero que las plantas podadas manualmente, sin embargo, ambos tratamientos mostraron valores similares a cosecha. A su vez, Cruz et al. (2011) al medir potencial hídrico foliar de vides variedad Alfrocheiro durante todo el periodo de crecimiento, no encontraron diferencias significativas independientemente del sistema de poda, sin embargo, al observar estrictamente el periodo de cosecha, notaron una tendencia a su

disminución en vides podadas mecánicamente. Por otro lado, Tomasi et al. (2013) midieron potencial hídrico de tallo en vides ‘Cabernet Sauvignon’ sin observar diferencias atribuibles a la severidad de la poda, sin embargo, esto se puede explicar debido a que el año de medición fue lluvioso, por lo que las plantas no se enfrentaron en ningún momento a una situación de déficit hídrico. Esto último concuerda con la influencia que Possingham (1996) le atribuye a las condiciones ambientales sobre el comportamiento vegetativo de las vides y su adaptación a la poda mecánica.

El menor potencial hídrico foliar de vides podadas mecánicamente indica un mayor agotamiento del agua presente en la zona de raíces (Lopes et al., 2000) y sugiere una mayor susceptibilidad ante estreses hídricos (Keller et al., 2004; Cruz et al., 2011). Este aumento en el consumo se explica por un incremento en la pérdida de agua hacia la atmósfera debido a la gran superficie foliar generada en primavera, como consecuencia del mayor número de brotes por planta (Lopes et al., 2000). Lo anterior fue confirmado mediante mediciones realizadas con sondas de neutrones, siendo posible constatar que, en los primeros 30 cm de suelo, la tasa de extracción de agua es superior en plantas podadas en forma mecánica o ligera. A profundidades mayores, sin embargo, no se observaron diferencias importantes (Keller et al., 2004).

Si consideramos, además, que la alta carga frutal (baja relación entre área foliar y rendimiento), propia de vides podadas ligeramente, puede aumentar la tasa transpiratoria de las hojas (Naor et al., 1997), la mayor demanda hídrica puede conducir, más fácilmente, a pérdidas de potencial productivo. Es así como el seguimiento y control del riego toma especial relevancia ante sistemas de poda mecanizada (Keller et al., 2004).

Al podar mecánicamente en forma sucesiva, la cantidad de yemas retenidas por planta aumenta anualmente a pesar de mantener constante el área de corte (Gatti et al., 2011). Los autores señalan que esto ocurre debido a que cada año se van generando más brotes, los que a su vez proporcionan nuevos puntos de crecimiento para la siguiente temporada y al no realizarse una selección, cada año se densifica la cantidad de cargadores y la cantidad de yemas disponibles. A su vez, Freeman y Cullis (1981) señalan que en vides ‘Cabernet Sauvignon’ este aumento tiende a ser a tasa decreciente, siendo posible observar una cierta estabilización a través de los años. Indican, además, que este aumento es independiente de la forma del seto, siempre y cuando se mantengan sus dimensiones. Asimismo, Poni et al. (2004), al comparar distintas intensidades o tamaños de setos podados mecánicamente en vides Croatina, constataron que a mayor tamaño del seto, mayor será el número de yemas retenidas por planta y mayor será el número de brotes producidos. No obstante, al observar el comportamiento a través del tiempo de cada tamaño de seto en forma independiente, fue posible notar que en todos los casos la intensidad de esta respuesta disminuyó. Esto sugiere que la sensibilidad de la respuesta de la brotación al aumento del número de yemas por planta es dinámica a través de los años, siendo posible que la vid logre autorregular su respuesta al aumento del número de yemas retenidas por la poda mecánica en seto. Las causas del debilitamiento de esta respuesta y consecuente autorregulación del aumento en la brotación, puede relacionarse con cambios en la configuración del seto, desde el punto de vista de su edad, distribución de madera productiva y fertilidad de yemas (Sims et al., 1990; Andersen et al., 1996; Reynolds y Wardle, 1993).

El aumento del tamaño del seto puede traer efectos paralelos al aumento del número de brotes, tales como el envejecimiento de la madera y la acumulación de madera muerta e improductiva, lo cual puede inducir a una disminución en la proporción de yemas fértiles. Esto fue observado por Sims et al. (1990), en un experimento de tres años con distintos niveles de severidad de poda mecánica de ‘Muscadina’ (*Vitis rotundifolia Michaux*); la poda mecánica ligera consistió en un seto de 1000 yemas por planta y sin repase manual, mientras que su contraparte severa con repase manual intenso, alcanzó a 400 yemas por planta. Los autores observaron que las vides podadas mecánicamente, a pesar de manifestar ciertos signos de envejecimiento como el alto porcentaje de madera improductiva, al tercer año de poda ligera se mantenían bastante vigorosas; es posible que los signos de envejecimiento del seto observados con poda mecánica se relacionen con una excesiva cantidad de yemas retenidas, lo que podría ser ajustado disminuyendo el tamaño del seto. También puede deberse a un bajo grado de autorregulación ante el drástico incremento del número de yemas por planta, lo que puede conducir a una excesiva acumulación de madera. A pesar de que el envejecimiento del seto en este experimento no fue suficiente como para generar consecuencias mayores en las plantas, hay que considerar que un estudio de tres años deja abierta la interrogante de lo que puede haber ocurrido en cinco, siete o más años de poda mecánica.

El envejecimiento de la madera en vides sometidas a poda mecánica es un tema de discusión sin consenso claro. Existen experiencias, como la de Andersen et al. (1996), quienes señalan que variedades de *Vitis rotundifolia* no necesitan renovación de seto antes de los 10 años, lo cual se explica en parte porque una porción importante de las yemas retenidas entre el cuarto y sexto año de poda mecánica provenían de brotes que crecieron horizontalmente, quedando en posición adyacente al cordón, por lo que la máquina de poda no era capaz de removerlos, generando así una renovación de la madera productiva. Sin embargo, indican que a partir del quinto, y llegando al décimo año de poda mecánica sucesiva, sí se observan signos de envejecimiento del seto, dado por la interacción entre el zona de corte del equipo de poda, la cual es fija, y el hábito expansivo del seto, es decir, llega un momento en que el equipo de poda mecánica elimina buena parte de la madera de la temporada dejando retenida la madera de dos o más años. Por el contrario, si para evitar la eliminación de madera frutal se incrementan las dimensiones del seto, disminuye la severidad de la poda y se producirán problemas de manejo, ya que el follaje se irá ensanchando progresivamente (Possingham, 1996). Reynolds y Wardle (1993) coinciden en que a partir del quinto año de poda mecánica se advierte un envejecimiento progresivo de la madera en ‘Okanagan Riesling’, lo que tiende a reducir el incremento de rendimiento observado los primeros años. Los autores sugieren que algún tipo de renovación del cordón puede ser necesario. Possingham (1996) también afirma que la poda mecánica, en años sucesivos, puede aumentar la proporción de madera antigua, aumentando la rigidez de la planta y complicando la cosecha mecánica y, al igual que otros autores, destaca la necesidad de efectuar algún tipo de reconstitución de vides que han sufrido este problema, sugiriendo rebajar o podar fuertemente una cara de la planta en años alternados, para mejorar la forma y flexibilidad del seto. A su vez, Andersen et al. (1996) señalan que un manejo de poda asimétrica podría contribuir a aumentar la fertilidad de yemas y, así, sostener el rendimiento de vides podadas mecánicamente en seto. En este sentido, Freeman y Cullis (1981) encontraron que al comparar un seto cuadrado (simétrico), un seto rectangular desplazado (asimétrico) y un seto triangular, en ‘Cabernet Sauvignon’, las vides

podadas en seto rectangular desplazado responden de forma muy similar a las podadas en seto cuadrado (forma de seto más común), pero entrega la ventaja adicional de poder renovar el cordón en forma alternada. También notaron que el seto triangular, si bien comenzó con una expresión vegetativa inferior, con los años mostró un incremento progresivo, llegando a producir la mayor cantidad de brotes por planta. Esta diferencia en el comportamiento de vides podadas en forma triangular puede estar asociada a la posición y exposición de la madera frutal, constituyéndose como una alternativa interesante de considerar.

El comportamiento dinámico que manifiestan los setos podados mecánicamente a través de los años hace necesario contar con estrategias claras para enfrentar estos cambios de manera correcta. Por esta razón, es muy importante que las evaluaciones de adaptación a la poda mecánica en seto sean realizadas en estudios de largo plazo, que permitan constatar el comportamiento de las vides en las diferentes etapas de este sistema; desarrollo inicial, estabilización y ocaso.

Poda mínima

Inicialmente, el objetivo de la poda mecánica en seto fue emular la poda manual a un menor costo (Ruhl y Clingeleffer, 1993), sin embargo, la mayor retención de yemas que genera este sistema (Freeman y Cullis, 1981; Poni et al., 2004; Gatti et al., 2011; Caprara y Pezzi, 2013) terminó por clasificarlo como un sistema de poda ligera. Asimismo, podría decirse que la poda mínima es un sistema de poda extremadamente ligera, acercándose a un sistema de “cero poda” (Ruhl y Clingeleffer, 1993), y como tal puede conducir a un mayor aumento en el número de yemas retenidas por planta que el que genera la poda mecánica en seto (Bates y Morris, 2009), lo que podría generar respuestas más acentuadas ante este estímulo.

La poda mínima genera cambios considerables en el comportamiento vegetativo de las vides respecto a otros sistemas de poda más severos (Clingeffer y Krake, 1992). Estos cambios consisten principalmente en mayor cantidad de brotes (Clingeffer, 1984; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Lakso et al., 1996), menor tamaño de brotes (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992; Lakso et al., 1996), acortamiento de entrenudos (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992) y autorregulación del tamaño de la vid mediante abscisión de madera inmadura a mediados o finales de otoño (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992). Adicionalmente, se ha visto una ocasional reducción en el tamaño de hojas (Clingeffer y Sommer, 1993) y en el tamaño del sistema radical (Clingeffer y Krake, 1992). Por otro lado, se han encontrado diversas opiniones respecto al efecto de la poda mínima sobre el tamaño total de las vides (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992).

Clingeffer y Krake (1992) señalan que la poda mínima aumenta el número de brotes, pero reduce fuertemente su tamaño. Señalan además, que esta reducción de tamaño fue superior a la observada en tratamientos de estrés hídrico. Lakso et al. (1996), por su parte, señalan que las vides bajo poda mínima pueden triplicar el número de brotes de su contraparte

podada en forma manual convencional, pero el tamaño de cada brote se reduce. El estudio realizado por Clingeleffer y Krake (1992), consistió en someter un viñedo de 'Cabernet Franc' a distintos tipos de poda tradicional y a poda mínima; los resultados de este estudio indican que la poda mínima reduce el peso de brotes en un 75% respecto a la poda manual. En cuanto a la longitud de los brotes, el mismo estudio señala que el 85% de ellos supera los 20 cm en plantas podadas tradicionalmente, mientras que con poda mínima el 75% de los brotes no alcanza a superar los 20 cm. Respecto al número de nudos por brote, la mitad de los brotes de plantas bajo poda mínima tienen menos de cinco nudos y el 90% menos de 10, mientras que en plantas podadas en pitón el número de nudos por planta se distribuye en forma más uniforme con un 75% de los brotes distribuidos equitativamente entre 10 y 20 nudos por brote y solo un 10% con menos de cinco nudos por brote. Los resultados de esta investigación demuestran el fuerte efecto restrictivo de la poda mínima sobre el crecimiento individual de los brotes.

A pesar del aumento en el número de brotes por planta, la cantidad de brotes que alcanzan la madurez en plantas con poda mínima es menor (Clingeleffer, 1984). El autor señala que esto se debe al efecto conjunto de alteraciones que afectan el normal desarrollo de los brotes, tales como la reducción del tamaño, menor diámetro, escaso crecimiento lateral, entrenudos cortos y abscisión de madera inmadura. Adicionalmente, señala que la abscisión de madera inmadura es un mecanismo de control de longitud de brotes que tiene lugar en otoño y cuyo objetivo es eliminar aquellos segmentos del brote que no alcanzaron las características de madurez necesarias para convertirse en madera productiva que contribuirá a la producción de fruta la siguiente temporada. Explica, además, que los brotes que quedan retenidos tienden a ser de pequeño diámetro y de entrenudos cortos, no obstante, habitualmente cuentan con las características necesarias para la producción de fruta. Finalmente, aclara que si bien todos los cargadores que quedan retenidos cuentan con potencial productivo, los que efectivamente producirán fruta suelen ser aquellos que se ubican en la parte superior de la planta, es decir, en un óptimo entorno lumínico.

La autorregulación del crecimiento de brotes que produce el sistema de poda mínima se ve interrumpido cuando se usa una estrategia de poda convencional o severa, promoviendo un fuerte crecimiento individual de brotes y, en consecuencia, generando la necesidad de volver a podar en forma severa el invierno siguiente (Clingeleffer, 1984). Incluso se ha advertido que en vides bajo sistema de poda mínima, si el faldeo invernal se realiza en forma severa puede inducir un crecimiento vigoroso de brotes la temporada entrante, dificultando el manejo del viñedo y la continuidad del sistema de poda mínima (Clingeleffer y Krake, 1992). En este sentido, los autores proponen que el correcto manejo de un viñedo sometido a poda mínima se manifiesta por una autorregulación del crecimiento de brotes, tal que permita realizar un faldeo lo más ligero y rápido posible.

Clingeleffer (1988) indica que la abscisión de brotes inmaduros, que manifiestan las vides podadas mínimamente, permite mantener acotado el tamaño de la planta, señalado que este efecto no fue encontrado en vides podadas mecánicamente en seto, ni en pitón (manual). No obstante, Clingeleffer (1984) indica que, a pesar de que este fenómeno de autorregulación del crecimiento contribuye a contener el tamaño las plantas, las vides podadas mínimamente tienden a ser de mayor tamaño que vides podadas convencionalmente. En su estudio se analizó la distribución de madera en invierno,

observando que vides podadas mínimamente generan una planta de mayor tamaño y con mayor cantidad de estructura permanente, lo cual se puede explicar debido a que es una poda menos severa, en la cual la poda permite retener un 85% de la madera producida en la temporada, en comparación con el 15% que retiene la poda convencional.

Posteriormente, Clingeleffer y Krake (1992) concluyeron que la poda mínima no altera el tamaño total de la planta, si no que más bien altera la proporción en que se distribuye el tamaño total entre las partes de la planta. Así, mientras en vides podadas en pitón los crecimientos producidos en la temporada alcanzan un 10%, en poda mínima se reduce a un 3%. Sin embargo, observaron un aumento de hasta un 14% de estructura permanente o madera antigua en plantas sometidas a poda mínima. Por otro lado, también notaron que el sistema radical de vides podadas manualmente equivale aproximadamente al 20% de la materia seca total, sin embargo, en plantas sometidas a poda mínima tiende a reducirse, lo cual podría explicarse por un insuficiente suministro de asimilados para crecimiento y almacenaje.

A pesar de que nuevos estudios son requeridos para entender la interrelación de los factores que pueden estar involucrados en la reducción de tamaño del sistema radical de vides podadas mínimamente (hormonas, reservas de carbohidratos y fotoasimilados, nutrientes, disponibilidad de agua), es probable que algún tipo de regulación hormonal esté implicado, considerando que el aumento del número de brotes causado por la poda mínima genera un incremento en la competencia por suministros hormonales (citoquininas y giberelinas), los cuales provienen de un sistema radical limitado. A lo anterior se suma la alteración en la dominancia apical, los efectos de inhibición correlativa y una alteración en el suministro de auxinas, asociados a los cortes de poda (Clingeleffer y Krake, 1992).

Clingeleffer y Krake (1992) mencionan que cuando existen transiciones desde poda manual hacia podas mecanizadas o ligeras, y particularmente hacia poda mínima, existe una interacción entre el tipo de poda manual utilizado en forma previa y la respuesta de las vides a la implementación de poda mínima en cuanto a tamaño y vigor. Así, en general, las vides transformadas de poda en cargador (tipo Guyot) a poda mínima resultan ser más pequeñas y menos vigorosas que aquellas transformadas desde poda en pitón (cordón apitonado), lo cual se puede explicar debido a la menor cantidad de materia seca a nivel de cordón en vides podadas en cargador y, por lo tanto, a una menor capacidad de almacenar fotoasimilados (Clingeleffer y Krake, 1992; Ruhl y Clingeleffer, 1993). Lo anterior puede conducir a que aquellas vides que sufrieron la transición desde poda en cargador a poda mínima presenten un menor número de brotes y nudos maduros por planta, respecto a aquellas provenientes de poda en pitón (Clingeleffer y Krake, 1992). Ruhl y Clingeleffer (1993), por su parte, amplían el concepto al indicar que las vides de mayor tamaño acumulan más carbohidratos que vides de menor tamaño, por lo tanto, el efecto del tipo de poda utilizado en forma previa a la implementación de la poda mínima es más bien un efecto indirecto a través del tamaño inicial de la planta.

Respecto a la distribución de los carbohidratos acumulados, Ruhl y Clingeleffer (1993) observaron que vides sometidas a poda mínima acumulan la misma cantidad de carbohidratos totales en sus partes perennes y bayas que vides podadas en pitón, siempre y cuando el tamaño de las plantas al momento de formarlas en cada sistema de poda haya

sido similar. Sin embargo, también observaron que la proporción en que estos carbohidratos se acumulan en las distintas partes de la planta es significativamente distinta al comparar ambos tipos de poda. Así, concluyen que vides podadas mínimamente acumulan más carbohidratos en tronco, cordón y sub cordón (madera antigua), y menor cantidad en sarmientos de un año y raíces. Adicionalmente, destacan la gran concentración de azúcares en madera antigua y raíces de vides bajo poda mínima, así como los altos niveles de almidón en raíces de vides podadas manualmente en pitón.

En cuanto a la acumulación de nitrógeno, Ruhl y Clingeleffer (1993) encontraron que siguió el mismo patrón que la acumulación de carbohidratos totales, es decir, vides podadas mínimamente acumulan más nitrógeno en tronco, cordón y sub cordón (madera antigua), y menor cantidad en sarmientos de un año y raíces. Adicionalmente, encontraron que las concentraciones promedio de potasio, magnesio y otros nutrientes, medidas tanto en sarmientos de un año, madera antigua (tronco, cordón y sub cordón) y raíces, no son afectadas por el tipo de poda. Las concentraciones de calcio en sarmientos de un año, sin embargo, son significativamente menores en vides podadas en pitón. Clingeleffer (1984), por su parte, señala que las podas más ligeras, al retener mayor cantidad de madera, retienen mayor cantidad de carbohidratos de reserva, lo puede relacionarse con una superior capacidad de incrementar rendimiento.

En relación al desarrollo del follaje, Clingeleffer y Sommer (1993) evaluaron el comportamiento de vides ‘Cabernet Sauvignon’, plantadas en una región cálida de Australia, bajo riego, podadas en cargador o con poda mínima; encontraron que el desarrollo del área foliar de plantas podadas mínimamente sufre una fuerte aceleración adoptando un comportamiento inicial exponencial, mientras que las vides podadas en cargador lo hacen en forma lineal. Esto se explica en gran medida por el incremento en el número de yemas retenidas y por la mayor cantidad de madera o estructura permanente, lo que genera una mayor cantidad de puntos de crecimiento y una mayor disponibilidad de carbohidratos de reserva, respectivamente. Al contrario, podas severas eliminan una gran proporción de los carbohidratos de reserva.

Estudios iniciales (Clingeleffer, 1984) compararon vides ‘Thompson Seedless’ con poda mínima y con poda manual, sin encontrar diferencias significativas en tamaño, peso y número de hojas por planta. No obstante, a pesar de no haber diferencias en la cantidad total de follaje, sí notaron una diferencia en el desarrollo de los brotes y en la forma en que se distribuyen las hojas dentro de la copa, ya que en vides podadas mínimamente se observó una mayor cantidad de brotes pequeños y con pocas hojas, mientras que en vides podadas manualmente fue al revés, es decir, menor cantidad de brotes de mayor tamaño y con más hojas. El autor indica que esta diferencia en la distribución del follaje se traduce en que la copa de vides podadas mínimamente muestre una apariencia más uniforme. Resultados obtenidos por Lakso et al. (1996) en vides ‘Concord’ (*Vitis labrusca*) concuerdan en que el área foliar máxima no se ve afectada al podar convencional o mínimamente, no obstante, indican que sí hay diferencias en el tiempo en que las vides se demoran en alcanzar dicha superficie foliar. Señalan que si bien el área foliar de vides podadas mínimamente se inicia en forma más temprana y en forma exponencial, alcanzando su área foliar máxima en forma anticipada, la producción de hojas en vides podadas manualmente se prolongó por tres semanas más que en vides podadas

mínimamente, logrando igualarlas. En contraste con estas dos experiencias previas, Clingeleffer y Sommer (1993) indican que el área foliar de vides podadas mínimamente no solo se desarrolla en forma más rápida, sino que, además, alcanza un área foliar máxima superior y su actividad fotosintética se prolonga por mayor tiempo. Este estudio indica, además, que el área foliar máxima de vides Cabernet Sauvignon sometidas a poda mínima alcanzó más del doble de área foliar alcanzada por vides con poda severa, lo cual se explica por la gran cantidad de yemas retenidas y, por ende, la gran cantidad de brotes. Sin embargo, en este estudio, el área individual de cada hoja fue superior en plantas sometidas a poda severa.

La tasa de asimilación promedio de CO₂ de hojas expuestas es similar en vides podadas mínimamente y vides podadas en forma severa, aunque en vides sometidas a poda mínima se observa una leve tendencia a obtener valores menores (Clingeleffer y Sommer, 1993; Lakso et al., 1996); misma tendencia a la observada al comparar la conductancia estomática (Clingeleffer y Sommer, 1993) y la tasa fotosintética (Lakso et al., 1996). Lakso et al. (1996) indican, además, que al comparar vides bajo poda mínima y convencional, las primeras no mostraron signos de envejecimiento prematuro de hojas o decaimiento en la actividad del follaje hacia finales de la temporada, lo cual representaba una interrogante de particular preocupación asociada a poda mínima. Otra observación interesante fue que, si bien vides podadas en forma convencional continúan produciendo hojas durante más tiempo, el peso de los brotes producía que se dirigieran hacia abajo (principalmente en vides de hábito descendente), por lo que las hojas jóvenes se encontraban generalmente cerca del suelo, mientras que aquellas hojas que quedan en la parte alta del follaje y que capturan la mayor cantidad de luz, son más bien hojas basales y de una edad similar a aquellas que se observan bajo un régimen de poda mínima. Clingeleffer y Sommer (1993) señalan que esta leve disminución en la tasa fotosintética de hojas de vides bajo poda mínima se puede explicar a través del grado de verdor de las hojas, el cual fue consistentemente más bajo, es decir, hojas más claras. Es probable que las hojas de vides bajo poda mínima, contengan menor cantidad de clorofila por unidad de área foliar, lo cual puede reducir la tasa de asimilación por unidad de área foliar (Clingeleffer y Sommer, 1993). Lakso et al. (1996), por su parte, concluyen que aunque la fotosíntesis individual de las hojas no mostró diferencias asociadas al tipo de poda, la fotosíntesis neta de toda la copa debiera ser mayor en vides con poda mínima que en vides con poda severa, dado que el área foliar se desarrolla mucho más rápido en primavera. Lo anterior sugiere que al momento de comparar la fotosíntesis neta entre vides sometidas a podas severas y podas ligeras, el factor clave podría ser la rapidez con la que se configura el follaje definitivo para contar con superficie fotosintéticamente activa por un mayor tiempo, el cual pareciera ser más relevante que las pequeñas diferencias que se observan en cuanto al área foliar total o máxima y podría ser una de las explicaciones del mayor rendimiento que habitualmente se obtiene con sistemas de poda mínima (Clingeleffer y Sommer, 1993).

La poda mecánica y su efecto en el rendimiento

Poda en seto

La poda mecánica, al no ser selectiva, siempre deja una mayor carga de yemas que la poda manual convencional (Intrieri et al., 1988). Esto no solo tiene un impacto en el desarrollo vegetativo, sino que también en términos productivos, ya que una de las respuestas más comunes ante el incremento de yemas por planta es el aumento del rendimiento (Freeman y Cullis, 1981; Wilson, 1983; Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Lopes et al., 2000; Poni et al., 2004; Keller et al., 2004; Cruz et al., 2011).

El aumento en rendimiento generado por la poda mecánica ha sido reportado en variedades como Cabernet Sauvignon (Lopes et al., 2000), Salvador, Barbera, French Colombard (Wilson, 1983), Croatina (Poni et al., 2004), Concord (Keller et al., 2004), Garnacha (Martínez de Toda y Sancha, 1999), Alfrocheiro (Cruz et al., 2011), Pinot Gris (Tomasi et al., 2013). Mientras que experiencias erráticas o definitivamente negativas han sido reportadas en ‘Doradillo’ (Freeman y Cullis, 1981), ‘Okanagan Riesling’ (Reynolds, 1988) y ‘Muscadina’ (Sims et al., 1990).

Tal como ocurre con el desarrollo vegetativo, la vid reacciona mediante mecanismos compensatorios que alteran el comportamiento productivo para contrarrestar el impacto del eventual incremento en la carga frutal. Tassie y Freeman (1992) señalan que la capacidad de compensación del rendimiento, frente a un aumento del número de yemas por planta, es notablemente dependiente del grado de ajuste que manifiesten las vides en cuanto a brotación (brotes por nudo), fertilidad de yemas (inflorescencias por brote) y peso de racimo (cantidad y peso de bayas). Estas afirmaciones concuerdan con lo señalado por Reynolds y Wardle (1993), quienes indican que los componentes del rendimiento son, junto con el número de brotes, los mayores determinantes del rendimiento total. Así, en la medida que las diferentes técnicas de poda influyan sobre estos factores, habrá una influencia sobre el rendimiento obtenido por las vides.

Lopes et al. (2000) estudiaron la interrelación entre el porcentaje de brotación y componentes del rendimiento en la determinación del rendimiento total de vides ‘Cabernet Sauvignon’ podadas mecánicamente, notando que la cantidad de yemas retenidas en vides podadas mecánicamente fue aumentando con los años y, paralelamente, el porcentaje de brotación fue disminuyendo, sin embargo, los datos muestran una estabilización hacia el 65% de brotación, donde independientemente del incremento en el número de yemas, ésta no siguió disminuyendo. Los autores indican que, al parecer, cuando el porcentaje de brotación no puede seguir disminuyendo toman relevancia otros mecanismos, como el número de racimos por brote y el peso de racimo, los cuales muestran una disminución significativa cuando el porcentaje de brotación no es capaz de compensar el aumento en el número de yemas. En este estudio, a pesar del esfuerzo realizado por la planta a través de estos múltiples mecanismos de ajuste, no fue suficiente para compensar la gran diferencia de yemas entre tratamientos y, en consecuencia, las vides podadas mecánicamente presentaron una cantidad de racimos y un rendimiento por planta significativamente más alto.

Un estudio, realizado por Reynolds y Wardle (1993) en ‘Okanagan Riesling’, indica que, en vides sometidas a poda mecánica, el aumento de rendimiento está en función del incremento en el número de racimos por planta y del peso de racimo, sin embargo, el peso de racimo está directamente correlacionado con el número y peso de bayas y ambos

muestran una fuerte relación inversa con el rendimiento. De modo que los incrementos en el número de racimos por planta pueden ser parcialmente compensados por una disminución en número y peso de bayas. Esto sugiere que la maximización del rendimiento de vides podadas mecánicamente está, más bien, en función de una alta producción de brotes fértiles, que en la producción de muchas bayas de gran tamaño. Lo anterior indica, además, que habitualmente las vides podadas mecánicamente no se encuentran tan limitadas por la fertilidad de sus yemas o brotes como lo pueden estar por la falta de crecimiento vegetativo o capacidad de asimilación necesaria para mantener el número y peso de bayas. Contrariamente, en el caso de vides podadas manualmente, las correlaciones positivas detectadas entre varios componentes del rendimiento y tamaño de la planta (en términos de expresión vegetativa) sugieren que el rendimiento podría estar más bien en función del vigor de la planta (Reynold y Wardle, 1993).

En definitiva, las respuestas positivas de los componentes del rendimiento ante el incremento de yemas provocado por la poda mecánica, se pueden resumir en un incremento en la cantidad de racimos por planta (Freeman y Cullis 1981; Reynolds, 1988; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Poni et al., 2004; Keller et al., 2004; Cruz et al., 2011). Por el contrario, se observan reducciones en la fertilidad de yemas, es decir, número de racimos por brote (Morris y Cawthon, 1981; Sims et al., 1990; Reynolds y Wardle, 1993; Lopes et al., 2000; Keller et al., 2004), en el peso de racimos (Freeman y Cullis 1981; Wilson, 1983; Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Lopes et al., 2000; Poni et al., 2004; Keller et al., 2004; Cruz et al., 2011), lo cual se explica por una reducción en el número de bayas por racimo (Reynolds y Wardle, 1993; Poni et al., 2004; Keller et al., 2004; Gatti et al., 2011) y, ocasionalmente, por una disminución en el tamaño de las bayas (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993; Possingham, 1994; Keller et al., 2004). Algunos autores hacen referencia a un aumento en el rendimiento de azúcar en vides podadas mecánicamente, medido en gramos por planta, encontrándose aumentos de hasta un 62% (Wilson, 1983; Martínez de Toda y Sancha, 1999).

El incremento en el número de racimos por planta, como se mencionó anteriormente, está ampliamente reportado. Reynolds y Wardle (1993) desarrollaron este tema en profundidad y a pesar de que inicialmente sugirieron una fuerte influencia del número de brotes por planta sobre los componentes del rendimiento y el rendimiento total, resultados obtenidos a través de “path analysis” aclaran que la cantidad de brotes por planta tiene una influencia directa leve sobre el rendimiento, pero una enorme influencia indirecta a través de los racimos por planta.

La fertilidad de yemas ha sido reportada como uno de los factores de compensación del rendimiento más consistentes ante el incremento de nudos por planta. El grado de reducción de la fertilidad de yemas responde a los niveles naturales o genéticos de fertilidad, y diversas experiencias lo correlacionan positivamente con el nivel natural de fertilidad de la planta. Así, variedades o especies de alta fertilidad suelen reducir en forma más drástica la fertilidad de sus yemas ante aumentos en el número de nudos por planta, en comparación con otras de moderada o baja fertilidad. Es importante señalar que, en ocasiones, la causa de la reducción de fertilidad de las yemas puede ser ambigua, ya que se puede deber a un cambio en la fertilidad de la misma yema retenida o a una selección, mediante el largo de

poda, de aquellas yemas menos fértiles; lo último se aplica especialmente a podas cortas de variedades de baja fertilidad de las yemas basales (Poni et al., 2004).

Comúnmente, la disminución de la fertilidad de las yemas se puede manifestar cuando la fisiología del follaje o de los brotes impone cierta limitación sobre los procesos de inducción y diferenciación. Así, en casos de poda mecánica muy ligera, los brotes débiles producidos en primavera pueden ejercer un estrés foliar sobre la diferenciación de las yemas, obteniendo así una regulación de carga preliminar para la próxima temporada (Poni et al., 2004). Los mismos autores señalan que ante un excesivo sombreado de yemas basales producto de un crecimiento vegetativo desmedido, se puede generar un efecto negativo sobre la fertilidad de las yemas.

Poni et al. (2004) estudiaron el comportamiento de vides ‘Croatina’, variedad que se poda habitualmente en cargadores debido a la baja fertilidad de sus yemas basales; el estudio consistió en comparar la poda manual y distintas intensidades de poda mecánica y estas últimas, a su vez, con distintas intensidades de repase manual. Las intensidades de poda mecánica variaron de una poda ajustada al cordón hasta una más ligera, en que la línea de corte se estableció a 10 cm del cordón, tanto por arriba como lateralmente, lo que proporcionó cargadores de tres a cuatro yemas. A pesar de que la fertilidad de yemas ha sido reportada como uno de los factores de compensación del rendimiento más habituales, en este experimento no se vio afectada por la intensidad de la poda, lo cual se puede atribuir a que las longitudes de poda estudiadas fueron más bien cortas, por lo que las vides quedaron en una condición de baja fertilidad y, como se mencionó anteriormente, una baja fertilidad puede atenuar los cambios en la fertilidad de yemas. Estos resultados son congruentes con el desarrollo del follaje observado, ya que el crecimiento de los brotes hasta el despunte fue similar y luego del despunte se promovió una disposición más erecta de los mismos brotes, facilitando la entrada de luz, por lo que se pueden descartar alteraciones a la fisiología del follaje que reduzcan la fertilidad de las yemas. Adicionalmente, en los tratamientos de poda más ligera, el desarrollo de brotes laterales o secundarios fue menor, con lo que se disminuyó el riesgo de reducción de fertilidad por sombreado (Poni et al., 2004).

En el estudio de Poni et al. (2004), tal y como se esperaba, dada la baja fertilidad de yemas basales de la variedad, el rendimiento aumentó al disminuir la severidad de la poda, es decir, al aumentar el largo de poda. Sin embargo, también era de esperar que en algún momento el aumento de yemas por planta fuese compensado de tal modo que el rendimiento se autorregule, pero como uno de los principales factores de regulación no se activó (fertilidad de yemas) y otros fueron muy leves (reducción del peso de racimo), el aumento de rendimiento mostró una relación lineal con el número de nudos retenidos en la poda, de modo que el rendimiento obtenido por el tratamiento de poda más ligera (4,8 kg/planta; equivalente a 15,2 t ha⁻¹), fue un 48% mayor al nivel registrado por la poda manual, no evidenciando signos de llegar a un límite de carga frutal. McCarthy y Cirami (1990) indican que lo sucedido con la variedad Croatina se puede explicar debido a que los tratamientos de poda más ligera pueden no haber sido lo suficientemente leves como para que la planta se acerque a su potencial productivo y gatille con más fuerza sus mecanismos compensatorios del rendimiento. A partir de los resultados obtenidos por Poni et al. (2004), se puede afirmar que las vides ‘Croatina’ tienen una moderada capacidad de autorregular la

carga frutal o de compensar un aumento en el número de yemas, por lo que la poda mecánica en seto, de esta variedad u otras de similar comportamiento, debe ser más cuidadosa, para que no se produzca un incremento de rendimiento desmedido que acabe por deteriorar la calidad de la uva y el vino.

Por otro lado, existen variedades de alta fertilidad de yemas basales, como Barbera (Gatti et al., 2011) y Sangiovese (Di Collato et al. 1988; Caprara y Pezzi 2013). Para conocer la posible interacción entre esta condición y la poda mecánica, Gatti et al. (2011) compararon cinco años de poda manual y mecánica con distintas intensidades de repase manual en vides 'Barbera' conducidas en cordón libre; los resultados indicaron que a pesar de que la poda mecánica en seto llegó a duplicar la cantidad de nudos retenidos (contabilizados) por la poda manual, el rendimiento por planta no se vio afectado (5 kg/planta), evidenciando un total efecto compensatorio del rendimiento en ambos sentidos, es decir, alta o baja cantidad de yemas por planta.

Los resultados obtenidos por Gatti et al. (2011) muestran que la regulación de la brotación, es decir, menor cantidad de brotes por cada nudo contabilizado, fue el principal factor determinante del rendimiento en vides podadas mecánicamente, mientras que en el caso de las vides podadas manualmente se sugiere que a pesar de la baja cantidad de nudos contabilizados, el rendimiento fue estimulado por la brotación de nudos o posiciones no contabilizadas (yemas basales) que fueron retenidas en la poda, pensando en la futura renovación de las actuales posiciones. Así, las yemas basales representaron el 70% de la población de yemas de las vides podadas manualmente, mostrando una importante respuesta compensatoria de la planta ante el bajo número de yemas retenidas, que le permitió obtener rendimientos estadísticamente iguales a los obtenidos con poda mecánica. Entonces, si las vides Barbera tienen la capacidad de compensar el bajo número de yemas retenidas por una poda severa mediante un incremento en la brotación de yemas basales y, a su vez, tienen una alta fertilidad en estas yemas, es posible compensar la eventual reducción de rendimiento provocado por la poda manual o severa.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos por Gatti et al. (2011) no concuerdan con los obtenidos por Di Collato et al. (1988) con la variedad Sangiovese, la cual también presenta alta fertilidad de yemas basales y, a pesar de ello, su rendimiento reaccionaba positivamente ante incrementos en la cantidad de yemas, producto de la poda mecánica. No obstante, posteriormente, Caprara y Pezzi (2013) evaluaron la poda mecánica en 'Sangiovese', encontrando resultados similares a los obtenidos por Gatti et al. (2011) en 'Barbera', es decir, que a pesar de que la poda mecanizada produjo un incremento de un 57% en el número de yemas por planta, respecto a lo encontrado en plantas podadas manualmente, este incremento (15 a 35 yemas por planta) no mostró diferencias de rendimiento, el cual se mantuvo alrededor de 25 t ha^{-1} . Lo observado por Gatti et al. (2011) y Caprara y Pezzi (2013) se puede explicar al considerar que vides con alta fertilidad de yemas basales, al concentrar su producción cerca del cordón, no dependen fuertemente del largo de poda para acercarse a su potencial productivo. De este modo, es posible que podas severas se aproximen a este valor y que podas más ligeras generen un excedente de yemas por planta que serían compensadas, manteniendo así un rendimiento similar entre tratamientos de poda severa y ligera. Es importante destacar que en estos casos la poda no es una herramienta confiable para controlar la carga frutal (Gatti et al., 2011).

Al analizar el tamaño de racimo, es posible notar que los racimos tienen una fuerte relación directa con el número y el tamaño de bayas. A su vez, el número y tamaño de bayas de un racimo tienen una relación inversa con el rendimiento y, por lo tanto, con el aumento de yemas por planta que genera la poda mecánica en seto (Reynolds y Wardle, 1993). Sin embargo, aun cuando se han registrado diferencias de hasta un 300% en la cantidad de nudos retenidos después de la poda, entre plantas podadas mecánicamente y manualmente, el tamaño de la baya no siempre disminuye. Por esta razón, el tamaño de baya se considera como un factor de baja sensibilidad al aumento de yemas por planta, es decir, reacciona débilmente a los cambios en la intensidad de la poda (Possingham, 1994; Martínez de Toda y Sancha, 1999). Así, en muchos casos, la diferencia en el peso de racimo se debe, más bien, a una reducción en el cuaje, es decir, a un menor número de bayas (Poni et al., 2004). Adicionalmente, Freeman y Cullis (1981) señalan que también puede existir una relación directa entre una mejor exposición y el desarrollo de una mayor cantidad de las yemas primarias, las cuales generan racimos de mayor tamaño. Indican, además, que esta mejor exposición se puede alcanzar mediante poda mecánica en seto triangular, el cual puede que produzca bajos rendimientos iniciales, pero con el transcurso de los años iguala en número de racimos a las otras formas de seto (cuadrado y rectangular desplazado), pero las supera en rendimiento debido a mayor peso de racimos.

Normalmente, el primer año de implementación de un sistema de poda mecánica tiende a producirse un desequilibrio que se va mitigando con los años. Este desequilibrio se produce debido al abrupto aumento en la cantidad de yemas retenidas. Dependiendo de las condiciones ambientales del lugar, genotipo y habilidades del productor, este desequilibrio puede ser variable y manifestar distintas intensidades (Gatti et al., 2011).

Un efecto común de este desequilibrio es una producción excesiva, la cual disminuye la calidad de la fruta a cosecha y promueve las producciones alternadas. Ante este escenario, es muy común que el productor se vea tentado a incrementar fuertemente el repase manual al siguiente año, lo que resultará en plantas podadas de forma muy similar a una poda manual convencional, perdiéndose el objetivo de la poda mecánica (Gatti et al., 2011).

Gatti et al. (2011) indican que existen técnicas de poda mecánica que contribuyan a disminuir y controlar este desequilibrio. Una de estas formas la desarrollaron en un experimento con vides variedad Barbera, las que fueron sometidas a poda mecánica al cuarto año desde plantación; cuando se implementó la poda mecánica las vides habían formado los brazos y desde ellos emergían unos pocos cargadores de varias yemas. Al podar mecánicamente, gran parte de las yemas eran eliminadas porque a diferencia de un cordón apitonado, una vid podada en cargador tiene pocas posiciones de mayor longitud, por lo que al podarla mecánicamente el resultado es la misma cantidad de posiciones pero con un número de yemas mucho más bajo. Esto permitió que el incremento de yemas por planta fuera paulatino, siendo pocas al comienzo y aumentando con el pasar de las temporadas. El incremento de yemas se produce desde posiciones tanto contabilizadas como no contabilizadas, que van formando el seto apitonado propio de la poda mecánica en seto. Los autores sugieren que el hecho de comenzar con la poda mecánica en forma temprana y con incrementos moderados del número de yemas, puede ser una alternativa viable para obtener una adaptación suave de la vid a la poda mecánica.

Otra posible causa de fracaso en la adaptación de vides a la poda mecánica en seto puede ser la influencia de factores anexos, como clima u otros. Respecto a lo anterior, Freeman y Cullis (1981) indican que la mala adaptación a la poda mecánica de la variedad Doradillo fue independiente del tratamiento de poda mecánica (forma del seto). Esta variedad mostró variaciones de rendimiento de hasta 1000%; estas variaciones fueron influenciadas por factores ambientales, los cuales podrían anular el efecto del tipo de poda sobre el rendimiento. No obstante, el mismo ensayo mostró una respuesta favorable a la poda mecánica en el caso de ‘Cabernet Sauvignon’, lo que sugiere que los factores ambientales influyeron en el rendimiento de ‘Doradillo’ pueden tener menor impacto en el caso de variedades, como Cabernet Sauvignon u otras. A su vez, Keller et al. (2004) concluyeron que las fluctuaciones productivas en vides ‘Concord’ se deben a un ciclo productivo que dura 10 años, aproximadamente, y que este ciclo no se vio alterado por la poda mecánica. De este modo, las vides podadas mecánicamente seguían, aunque con mayor rendimiento, el patrón productivo estacional en forma paralela, independientemente del número de nudos retenidos por planta.

Al podar mecánicamente también existe otro escenario posible, como lo muestran Andersen et al. (1996), al realizar un estudio de seis años en viñedos de uva para producción de jugo ‘Noble’ y ‘Welder’ (*Vitis rotundifolia*); al cabo de seis años no se evidenciaron diferencias significativas en el rendimiento de vides podadas manual y mecánicamente. Si bien los resultados en ‘Welder’ fueron más erráticos, en ‘Noble’ se observó un aumento inicial del rendimiento con poda mecánica y una paulatina disminución durante los años de medición, hasta que, al sexto año, las vides podadas manual y mecánicamente produjeron la misma cantidad de fruta desde el punto de vista estadístico. El hecho de que en este estudio la poda mecánica iguale el rendimiento de la poda manual sugiere que, independientemente de cuales fueron los mecanismos compensatorios que tuvieron lugar en este caso, bajo ciertas condiciones es posible podar mecánicamente y que la planta autorregule su rendimiento para obtener los mismos resultados que podando manualmente.

Cabe mencionar que varias de las experiencias de adaptación deficiente ya mencionadas carecen de información acerca del estado en que se encontraban las vides en términos de equilibrio vegetativo y reproductivo, lo cual puede ser una herramienta clave para regular los posibles desbalances generados por la poda mecánica.

Las experiencias más recientes de correcta adaptación a la poda mecánica tienden a considerar el análisis de la carga frutal y el balance de la vid. Kliewer y Dokoozlian (2001) concluyen que se requiere cerca de 0,8-1,2 m² de hoja por cada kg de fruta en cordón simple y entre 0,5 y 0,8 m² kg⁻¹ en copas divididas, para obtener una correcta maduración de uvas para vino. A partir de estos rangos, Keller et al. (2004) señalan que la poda mecánica de vides ‘Concord’ conducidas tanto en cordón simple como en copa dividida, no produce sobrecarga frutal; las evidencias de esta investigación sugieren que las fluctuaciones en rendimiento, que podrían asociarse a desbalances por sobrecarga, se debieron mayormente a fluctuaciones en las condiciones externas, como ambiente y otros manejos.

Jackson y Lombard (1993) proponen un límite de 1 m^2 de superficie foliar por cada kg de fruta, bajo el cual se denota una sobrecarga frutal. Siguiendo esta valoración, Poni et al. (2004) indican que ninguno de los tratamientos de poda mecánica conducidos en su estudio evidenció signos de sobrecarga frutal y que, a pesar de que la relación fue disminuyendo a medida que bajaba la intensidad de la poda, el tratamiento de poda más ligera se mantuvo en los $1,22 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, indicando un correcto balance entre crecimiento vegetativo y producción.

Por otra parte, Lopes et al. (2000) hacen referencia a la relación entre el rendimiento (kg) y peso de poda (kg) para evaluar sobrecarga frutal. En este sentido, indican que, si bien este índice es más alto en plantas podadas mecánicamente respecto a aquellas podadas manualmente, no alcanza a sugerir una sobrecarga frutal. Cruz et al. (2011), por su lado, utilizando el mismo índice, encontraron un cierto desbalance al podar mecánicamente, sugiriendo que la carga frutal fue excesiva. No obstante, los mismos autores señalan que este desbalance puede ser manejado mediante aplicación de materia orgánica.

En el mismo experimento de Lopes et al. (2000), al comparar ambos tratamientos, la menor relación entre superficie foliar y producción en vides podadas mecánicamente, combinado con un aumento de 100% del rendimiento a igual contenido de azúcar en las bayas, indica una superior eficiencia en la producción de fruta al podar mecánicamente. Martínez de Toda y Sancha (1999) concuerdan con estos resultados de eficiencia productiva, y señalan que al considerar el efecto combinado de un mayor desarrollo vegetativo y productivo se puede observar una mayor capacidad en vides podadas en forma más ligera.

Cuando la relación entre desarrollo vegetativo y productivo se encuentra balanceada, un ajuste de carga de vides podadas mecánicamente, ya sea manual o mecanizado, podría reducir el rendimiento del año en que se realizó el ajuste, sin necesariamente generar algún efecto beneficioso. Zabadal et al. (2002) indican que un ajuste de carga como complemento a la poda mecánica puede ser una estrategia alternativa a la poda manual, sin embargo, parece no ser necesario la mayor parte de las temporadas, pudiendo reservarse únicamente para aquellos años con serios problemas de sobrecarga.

Poda mínima

En general, vides bajo sistemas de poda mínima manifiestan un aumento en el rendimiento (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; McCarthy y Cirami, 1990; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Lakso et al., 1996) y en el número de racimos por planta (Clingeffer, 1984; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Lakso et al., 1996). A su vez, manifiestan reducciones en el número de racimos por brote (Clingeffer, 1984), el tamaño de racimos (Clingeffer, 1984; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Lakso et al., 1996), el número de bayas por racimo (Clingeffer, 1984; Lakso et al., 1996) y tamaño de bayas (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Lakso et al., 1996). Adicionalmente, se pueden encontrar registros que señalan una mayor dispersión de la ubicación espacial de racimos dentro de la copa (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992), lo que en ocasiones conduce a que exista una gran cantidad de

racimos que se ubican muy por debajo del cordón, complicando algunos manejos (Clingeffer, 1984). Las similitudes en la respuesta del rendimiento y sus componentes, entre vides podadas mecánicamente en seto y podadas mínimamente, son claras y de fácil comprensión considerando que ambos son sistemas de poda ligera. En definitiva la diferencia está en “cuán ligera” es la poda, de tal modo que las respuestas compensatorias en cada caso debiesen estar de acuerdo a la magnitud del estímulo, es decir, a la cantidad de yemas retenidas en la planta.

Diversas experiencias confirman las múltiples respuestas compensatorias al aumento de rendimiento en vides podadas mínimamente. Clingeffer (1984) observó que, en vides ‘Thompson Seedless’ (para producción de pasas), la poda tradicional no solo es innecesaria sino contraproducente, ya que la adopción de poda mínima reduce los costos y aumenta el rendimiento hasta un 60%, alcanzando 24,3 kg/planta. Los resultados del estudio indican que las vides podadas mínimamente presentaron mayor cantidad de brotes, pero la fertilidad de los brotes se redujo en un 30%, es decir, disminuyó fuertemente la cantidad de racimos por brote. Además, se encontraron bayas de menor tamaño y racimos entre 21-50% más pequeños. No obstante, a pesar de tener racimos más pequeños y una importante reducción en la cantidad de racimos por brote, el rendimiento de las vides con poda mínima fue superior a las podadas convencionalmente, debido a la amplia superioridad en la cantidad de brotes totales y, por lo tanto, racimos totales.

Clingeffer (1984) afirma que experimentos realizados en otras variedades, producidas bajo similares condiciones de temperatura, riego y alto vigor, han mostrado este mismo comportamiento. Clingeffer (1988) comparó la poda manual (en pitón), poda mecánica en seto y poda mínima, en un ensayo de selección clonal de ‘Riesling’ realizado durante cuatro años en una región cálida y regada de Australia; el estudio mostró que el rendimiento promedio de la poda manual apitonada (12,8 kg/planta) fue significativamente menor respecto al obtenido con poda mecánica en seto (14,2 kg/planta) y con poda mínima (13,8 kg/planta). En este caso, el menor rendimiento de vides con poda mínima, respecto a aquellas podadas mecánicamente en seto, se debió a que al segundo año de ensayo se eliminaron dos de los cuatro brazos que tenían las plantas podadas mínimamente, ante lo cual el rendimiento se fue reponiendo progresivamente hasta casi igualar el rendimiento de la poda mecánica en seto al cuarto año. El mismo estudio mostró que el tamaño de las bayas disminuyó con ambos sistemas de poda ligera, en comparación con poda manual tradicional. Estas diferencias en el tamaño de bayas fueron significativas para el tratamiento de poda mecánica en seto en una temporada, y para la poda mínima en dos temporadas, lo que sugiere que la poda mínima tiene un efecto más marcado sobre los componentes del rendimiento. Además, el autor indica, que, a diferencia de los otros dos tratamientos, las plantas podadas mínimamente presentaron una mayor dispersión en la ubicación de los racimos, los cuales se encontraban distribuidos ampliamente en la copa, mientras que al podar en forma manual o mecánica en seto los racimos se encontraban más concentrados hacia el cordón.

Clingeffer y Krake (1992) observaron que vides ‘Cabernet Franc’, bajo riego y podadas tradicionalmente en pitón o cargador, al ser modificadas hacia sistemas de poda mínima, produjeron sólo un leve aumento en el rendimiento, y sólo ocasionalmente significativo, lo que puede estar asociado al importante efecto compensatorio que condujo a una reducción

de 30% en el tamaño de bayas, lo que neutralizó el incremento en el número de racimos por planta. En este caso, la poda mínima condujo a que las plantas alcancen un correcto equilibrio o balance entre crecimiento, maduración de brotes y producción, lo cual, incluso, evitó la necesidad de podar el invierno siguiente. Asimismo, en un estudio similar, Clingeffer y Sommer (1993) evaluaron el comportamiento de vides ‘Cabernet Sauvignon’, plantadas en la región cálida de Australia y bajo riego, al podarlas en cargador o al aplicarles poda mínima; encontraron que el rendimiento obtenido con poda severa fue, en promedio, un 57% del rendimiento obtenido con poda mínima. Lakso et al. (1996), a su vez, compararon vides de variedad Concord bajo régimen de poda convencional y mínima, encontrando que ambos tipos de poda se diferenciaban claramente, tanto en los componentes del rendimiento como en el rendimiento final. Sus resultados indican que vides podadas mínimamente triplicaron el número de racimos, pero fueron de menor tamaño. Adicionalmente los racimos provenientes de poda mínima presentaron una menor cantidad y tamaño de bayas, no obstante, el rendimiento aumentó en un 23%.

El principal determinante del rendimiento en plantas podadas mínimamente es el número de racimos, mientras que para vides podadas convencionalmente es el tamaño de racimo (Clingeffer, 1984; Clingeffer y Sommer, 1993). Asimismo, el menor peso de los racimos provenientes de plantas podadas mínimamente se explica por diferencias en el tamaño y número de bayas (Clingeffer, 1984). La cantidad final de bayas en un racimo es determinada por el número de flores en el primordio floral, diferenciado inmediatamente después de la brotación, y por el cuaje.

El mayor número de racimos y, en definitiva, la mayor carga frutal obtenida con poda mínima, sólo puede ser sustentado y conducido a madurez con un follaje igualmente superior, que permita satisfacer la demanda de la fruta. Así, la gran variación en rendimiento de fruta entre poda mínima y poda severa puede deberse al resultado de una variación similar en la cantidad de follaje y su duración (Clingeffer y Sommer, 1993).

Al evaluar el efecto de la poda ligera, en plantaciones de vides ‘Thompson Seedless’ en distintas etapas de su vida productiva, se ha observado que la poda ligera (cero poda y mínima poda) incrementa el rendimiento, tanto en plantaciones jóvenes como en plantaciones antiguas al final de su vida productiva (Clingeffer, 1984); el mismo autor indica que la poda y sistemas de conducción tradicionales restringen el rendimiento de las vides, sobre todo en temporadas de alta producción. Adicionalmente, señala que este efecto restrictivo de la poda tradicional es particularmente fuerte en el caso de plantas clonales y vigorosas, impidiendo que expresen su verdadero potencial productivo.

El efecto restrictivo de la poda tradicional se confirma al analizar las proporciones entre superficie foliar y fruta producida. Las proporciones de 18,5 y 15,3 cm² g⁻¹ obtenidos en dos temporadas consecutivas por vides podadas convencionalmente, muestran que el follaje de estas vides podrían haber soportado una mayor carga frutal, si se compara con los valores sugeridos como adecuados para la maduración de fruta en ‘Thompson Seedless’: 7,3 cm² g⁻¹ (May et al., 1969) y 10 cm² g⁻¹ (Kliewer y Weaver, 1970, citado por Clingeffer, 1984). Los valores obtenidos en este ensayo por las vides podadas mínimamente (13,3 y 9,9 cm² g⁻¹), aun siendo inferior a los obtenidos con poda convencional, no sugiriendo la presencia de sobrecarga (Clingeffer, 1984).

La razón por la cual las plantas podadas mínimamente son capaces de llevar a madurez una mayor cantidad de fruta por unidad de superficie foliar se puede explicar debido a cambios en la eficiencia fotosintética que ocurren en respuesta al aumento de la carga frutal (Buttrose, 1966), a un aumento en la capacidad fotosintética total debido a la formación de una mayor área foliar tempranamente en la temporada y a mejor distribución del follaje (Winkler, 1958).

Al observar el comportamiento de cuatro selecciones clonales de ‘Riesling’, no hubo diferencia significativa entre ningún clon dentro del tratamiento de poda manual tradicional, en ninguna de las cuatro temporadas (Clingeffer, 1988), mientras que sí se evidenciaron diferencias significativas en el rendimiento de los cuatro clones al compararlos dentro de los sistemas de poda ligera, diferencias que se observaron en tres de las cuatro temporadas. Resultados similares fueron obtenidos utilizando poda tradicional en cargador (Antcliff, 1973, citado por Clingeffer, 1988); esto sugiere que la poda severa tradicional impone una restricción productiva a clones mejorados, por lo que se hace conveniente incluir los sistemas de poda ligera en todos los estudios de selección clonal con el fin de revelar el verdadero potencial de cada clon.

Con el fin de determinar si el potencial productivo de un cierto número de clones de Syrah, Riesling, Malbec y Semillon se encuentra enmascarado por el efecto restrictivo de la poda convencional, se les impuso un manejo de poda mínima, dando cuenta que gran parte de los clones de Riesling y Malbec mantenían un potencial productivo restringido a causa de la poda tradicional y que, al aplicarles una poda mínima, el promedio de yemas retenidas aumentó en siete veces y el rendimiento manifestó incrementos cercanos a un 50% (McCarthy y Cirami, 1990). El estudio mostró, además, que en la variedad Semillon se manifestó un incremento en el rendimiento de algunos clones sometidos a poda mínima, pero este efecto no fue tan marcado. En el caso de ‘Syrah’ no hubo diferencias significativas en el incremento de rendimiento de cuatro clones a los que se les impuso poda mínima. Los autores proponen que una de las explicaciones a la falta de respuesta en los clones de esta variedad puede estar en el material genético utilizado, es decir, que el material utilizado en las plantaciones de ‘Syrah’ al sur de Australia posea una base genética limitada, y que 200 años de producción no hayan sido suficientes para generar la diversidad genética necesaria (mutaciones) para realizar una buena selección clonal. Otra posible explicación que sugieren los autores es que, al implementar poda mínima, el factor limitante del rendimiento haya cambiado, y el número de yemas por planta dejó de ser el factor restrictivo, siendo reemplazado por otro; bajo las condiciones ambientales en que se desarrolló este experimento, la disponibilidad de agua puede ser un factor que limite la producción de fruta. En relación con esto, se ha demostrado que al incrementar la disponibilidad de agua se puede aumentar el tamaño de las bayas y el rendimiento, lo cual es particularmente importante en sistemas de poda ligera, en que existe una gran cantidad de racimos con bayas de tamaño pequeño. Lo anterior ofrece un gran potencial de incremento de rendimiento, al aumentar el riego en viñedos ubicados en regiones cálidas y que se manejen con poda mínima.

A partir de los estudios desarrollados por McCarthy y Cirami (1990), se puede concluir que en aquellos casos en que el incremento del número de yemas retenidas luego de la poda

invernal no genera un aumento significativo en el rendimiento, el aumento en el número de yemas no fue suficiente para superar a los mecanismos de autorregulación del rendimiento, o a la participación de algún factor limitante de tipo genético, ambiental, sanitario o de manejo. Así, ya sea porque la poda fue muy leve, por la influencia de factores limitantes externos o por la combinación de ambos, se puede estar restringiendo el potencial productivo de la vid, por lo que es muy importante considerar todos estos elementos al momento de implementar la poda mínima.

La poda mecánica y su efecto en la composición de la uva: sólidos solubles, acidez titulable, pH, antocianinas, aroma y aspectos sensoriales

Poda en seto

Dado que el tamaño de la planta, los componentes del rendimiento y composición de la fruta están correlacionadas, siendo mutuamente interdependientes (Reynolds y Wardle, 1993), la calidad podría verse afectada frente a desequilibrios causados por un aumento en la cantidad de yemas por planta y, por lo tanto, la adaptación a la poda mecánica puede verse frustrada (Poni et al., 2004). Por lo mismo, la habilidad de alcanzar el estándar de calidad de fruta deseado, al enfrentarse a altas producciones, es la principal preocupación de los productores ante la implementación de la poda mecánica (Keller et al., 2004).

Morris y Cawthon (1981) señalan que la poda mecánica, con mayor retención de yemas respecto a la manual, tiene efectos adversos en la calidad del jugo de uva *Vitis labrusca* variedad Concord. Sus resultados muestran que al sexto año de poda mecanizada, sin repase manual o con leve repase manual, e independientemente del sistema de conducción, la fruta no alcanzó la concentración mínima de sólidos solubles para cumplir con los estándares para la elaboración de jugo (15 °Brix, en ese momento). No obstante, la fecha de cosecha fue la misma para todos los tratamientos, independientemente de la cantidad de yemas retenidas y carga frutal, dando a entender que la madurez de la fruta se podría manejar ajustando la fecha de cosecha de cada tratamiento, en forma independiente.

Años más tarde, Keller et al. (2004) encontraron que la concentración de sólidos solubles en bayas de vides Concord podadas manualmente fue levemente superior a la obtenida con vides podadas mecánicamente en seto y, además, estas diferencias fueron significativas en escasas oportunidades. No obstante, es importante señalar que, en una temporada de carga frutal excepcionalmente alta, los tratamientos de poda ligera (mecánica) se vieron más afectados que los de poda manual, llegando al punto de no ser capaces de cumplir con los 16 °Brix mínimos exigidos por la industria de producción de jugo. Este último escenario fue el único caso en que los tratamientos de poda mecánica se podrían haber beneficiado de un ajuste de carga para equilibrar las vides y reducir los problemas de calidad.

Los resultados obtenidos por Morris y Cawthon (1981) y Keller et al. (2004) sugieren que la modificación de la fecha de cosecha y posibles ajustes de carga podrían contrarrestar los efectos adversos de la poda mecánica sobre la concentración de sólidos solubles en las bayas.

Resultados similares obtuvieron Reynolds (1988) y Reynolds y Wardle (1993), en vides ‘Okanagan Riesling’ establecidas en Kelowna, BC, Canadá. En estos casos, la poda mecánica aumentó el rendimiento en hasta un 26% respecto a la poda manual, pero produjo un retraso en la maduración, reduciendo la concentración de sólidos solubles a cosecha. Keller et al. (2004) indican que las temporadas cálidas promueven cosechas tempranas, mientras que temporadas más frías pueden retrasar la acumulación de sólidos solubles y, por lo tanto, la cosecha. Del mismo modo, regiones ubicadas a altas latitudes, como Canadá, son más susceptibles a incumplir los requerimientos térmicos para alcanzar la madurez adecuada de la fruta durante el periodo estival y, particularmente, cuando se utilizan sistemas de poda mecánica, los que habitualmente generan aumentos considerables de la carga frutal.

Además de la relación entre temperatura y la maduración de las bayas, algunos autores han observado que racimos localizados en ambientes sombríos muestran una menor acumulación de azúcar que racimos expuestos a la luz, posiblemente debido a una reducción en su fuerza como sumidero (*sink*) o por la supresión de la gluconeogénesis (Ruffner, 1982; Reynolds et al., 1986). Entonces, si la poda mecánica es ejecutada bajo condiciones que propicien el aumento de vigor, la fracción vegetativa de la vid podría ejercer una limitación en la concentración de sólidos solubles a cosecha.

Wilson (1983), al comparar poda mecánica y manual, encontró que el aumento de rendimiento producido por la poda mecánica, en las variedades Salvador (6%), Barbera (21%) y French Colombard (13%), indujo una reducción en el contenido de azúcar de las bayas que alcanzó al 2%, 4% y 5%, respectivamente. Por otro lado, la producción total de azúcar por unidad de superficie foliar aumentó en un 6%, 13% y 21%, respectivamente. Esto permite deducir que el aumento de rendimiento no fue suficiente como para inducir efectos de sobrecarga de fruta. En este estudio, es destacable el hecho de que en muchos casos la reducción de los niveles de azúcar de la fruta, observados en vides podadas mecánicamente, no tuvo impacto comercial, puesto que la fruta seguía cumpliendo con los parámetros de calidad exigidos por algunas bodegas de vino, mientras que para el caso de bodegas más exigentes bastó con atrasar la cosecha. Por su parte, Gatti et al. (2011) estudiaron el comportamiento de ‘Barbera’ ante distintas severidades de poda mecánica, observando una buena adaptación a este sistema de poda debido a la fuerte capacidad compensatoria del rendimiento que tiene esta variedad, lo que le permitió mantener su carga frutal estable, independientemente de la cantidad de yemas retenidas en la poda, y, en consecuencia, no deteriorar la calidad de la fruta en términos de concentración de sólidos solubles.

Freeman y Cullis (1981), al estudiar el efecto del posicionamiento de yemas mediante distintas formas de poda en seto, encontraron que en ‘Cabernet Sauvignon’ el incremento de yemas por planta no tuvo incidencia negativa en la cantidad de azúcar de la fruta, es más, el aumento de rendimiento de los tratamientos de poda mecánica fue acompañado en todos los casos por un aumento, aunque leve, en los niveles de azúcar en la fruta, en comparación con la poda manual. No obstante, se destaca el tratamiento de poda mecánica en seto triangular, ya que alcanzó la mayor cantidad de azúcar en la fruta y el mayor rendimiento. Según Reynolds (1988), esto podría relacionarse con una mejor exposición de

la fruta en sistemas de poda mecánica, debido a la reducción del vigor individual de los brotes y disminución de la densidad del follaje.

Estudios más recientes se han acercado a lo que podría considerarse una adaptación exitosa a la poda mecánica. Poni et al. (2004), por ejemplo, evaluaron distintas intensidades de poda en variedad Croatina (baja fertilidad de yemas basales), sin detectar diferencias estadísticamente significativas en la calidad de la uva de los diferentes tratamientos. Sin embargo, los autores señalan que la concentración de sólidos solubles fue declinando levemente con el pasar de los años en el tratamiento de poda mecánica más ligera, aun cuando la relación final entre el área foliar total y el rendimiento no mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos. Estos resultados pueden sugerir que el tratamiento de poda más ligera se acercó al límite de rendimiento que puede soportar esta variedad bajo las condiciones agroecológicas del estudio, considerando que el tratamiento de poda mecánica más ligera alcanzó los 4,8 kg/planta, equivalente a 15,2 t ha⁻¹ y superando en un 48% al rendimiento obtenido con poda manual convencional.

Poni et al. (2004) destacan la importancia del desarrollo de brotes laterales para el proceso de maduración. Al podar en forma más ligera, el índice de área foliar lateral fue levemente inferior y el vigor individual de cada brote secundario fue siempre menor, en comparación con los brotes producidos en la misma posición dentro del brote principal de los tratamientos de poda más severa. Adicionalmente, vides podadas en forma severa responden en forma más intensa a los despuntes realizados en primavera, desarrollando una mayor superficie foliar lateral. Si bien las podas más ligeras promueven el desarrollo temprano de follaje, los autores sugieren que este mayor desarrollo de área fotosintética lateral en vides podadas manualmente se traduce en una renovación de follaje y una menor proporción de hojas viejas, lo cual puede relacionarse con la mayor concentración de sólidos solubles en la baya. En contraposición, Lakso et al. (1996) indican que vides bajo poda mínima no muestran signos de envejecimiento prematuro de hojas o decaimiento en la actividad del follaje hacia finales de la temporada, en comparación con vides podadas manualmente.

Algunos ensayos realizados con *Vitis rotundifolia* (Sims et al., 1990; Andersen et al., 1996) muestran una aceptable adaptación a la poda mecánica de las variedades Noble y Muscadina, ya que no manifestaron reducciones significativas en la concentración de sólidos solubles de las bayas. Cabe mencionar que en 'Muscadina', la poda mecánica en seto no redujo la concentración de sólidos solubles de la fruta, a pesar de que la cantidad de yemas retenidas después de la poda mecánica ascendió a 1000 yemas por planta, en comparación con las 400 yemas por planta de los tratamientos de poda más severos, y aumentó el rendimiento en un 40%. En la variedad Welder no se observaron reducciones en la acumulación de sólidos solubles, sin embargo, tampoco se registraron aumentos significativos en el rendimiento al podar mecánicamente (Andersen et al., 1996).

En un estudio de largo plazo realizado en la variedad Garnacha, que buscaba comparar poda manual a 14 nudos por planta (siete pitones de dos yemas) y mecánica (pitones de tres a cinco nudos en cada brote) en un viñedo de secano en la Rioja alta española, no se obtuvieron diferencias consistentes en la concentración de sólidos solubles al podar manual o mecánicamente, sino que sólo se observó una disminución ocasional en vides bajo

simulación de poda mecánica, aun cuando el rendimiento promedio fue significativamente más alto (59%) en plantas bajo poda mecánica. Asimismo, el rendimiento de azúcar (gramos de azúcar por planta) también fue significativamente mayor en plantas sometidas a poda mecánica (62%) (Martínez de Toda y Sancha, 1999).

En un estudio realizado en Portugal, donde se evaluaron diferentes formas de poda en un viñedo de ‘Cabernet Sauvignon’ conducido en cordón bilateral, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de azúcar de las bayas al podar mecánica o manualmente, a pesar de que la poda mecánica aumentó los rendimientos significativamente y que la cantidad de yemas retenidas en la poda fue cinco veces superior (Lopes et al., 2000).

Estudios realizados en variedades de alta fertilidad de yemas basales, Gatti et al. (2011) y Caprara y Pezzi (2013) demostraron una buena adaptación de ‘Sangiovese’ y ‘Barbera’ a la poda mecánica, sin evidenciar reducciones en la concentración de sólidos solubles de la baya. En ambos casos, la capacidad de autorregulación del rendimiento fue alta y no se registraron aumentos de rendimiento al podar mecánicamente.

Al comparar poda manual (pitón), poda mecánica en seto y poda mínima en un ensayo de selección clonal de ‘Riesling’, realizado durante cuatro años en una región cálida y regada de Australia, se pudo observar que el aumento en rendimiento provocado por ambos sistemas de poda ligera no se tradujo en una reducción de la calidad de la fruta. La poda mecánica en seto mantuvo prácticamente los mismos niveles de calidad del mosto que la poda manual o severa; el contenido de sólidos solubles de vides podadas mecánicamente no mostró diferencias en tres de cuatro temporadas, alcanzando un promedio de 21,1 °Brix, en comparación con los 21,3 °Brix obtenido por su contraparte manual (Clingeffer, 1988).

Estos resultados (Clingeffer, 1988; Martínez de Toda y Sancha, 1999; Lopes et al., 2000; Gatti et al., 2011; Caprara y Pezzi, 2013) muestran que los mecanismos de compensación adoptados por las vides, debido al alto número de yemas retenidas que genera la poda mecánica, no afectaron negativamente la duración del período de maduración ni la acumulación de azúcar en las bayas (Lopes et al., 2000). Es más, Tomasi et al. (2013), al desfase las fechas de cosecha de distintos tratamientos de poda en vides ‘Cabernet Sauvignon’, logró al menos igualar las concentraciones de sólidos solubles obtenidas con poda manual (18,6 °Brix). Este desfase consistió en retrasar en una semana la fecha de cosecha de los tratamientos de poda mecánica y de cero poda, obteniendo 18,7 °Brix y 19,2 °Brix, respectivamente. Cabe destacar que, en este estudio, la concentración de sólidos solubles de vides podadas mecánicamente igualó a la obtenida en vides podadas manualmente, a pesar de que el rendimiento de las primeras fue un 50% superior. Sin embargo, a pesar de los buenos resultados obtenidos en ‘Cabernet Sauvignon’, la respuesta de ‘Pinot Gris’ a los distintos sistemas de poda fue muy distinta, encontrando los mayores niveles de sólidos solubles en fruta proveniente de plantas podadas manualmente, mientras que, en el otro extremo y con cerca de 1° Brix menos, se encontró la fruta proveniente de plantas no podadas y con valores intermedios para la poda mecánica (Tomasi et al., 2013). Lo anterior vuelve a reforzar la importancia del genotipo en las respuestas particulares a la poda mecánica.

Martínez de Toda y Sancha (1999), si bien encontraron cambios en la concentración de sólidos solubles asociados a la poda mecánica, no observaron influencia en el pH y acidez titulable.

Reynolds (1988), por su parte, observó una reducción en la acidez titulable en vides podadas mecánicamente, asociada al desarrollo de la fruta en un entorno de superior condición microclimática, es decir, un menor sombreado de los racimos. El pH, por su parte, no mostró cambios consistentes. El autor señala que la gran acumulación de cationes de potasio en las bayas y el crecimiento activo de brotes en las últimas etapas de maduración de la baya pueden explicar los efectos sobre la acidez y el pH.

Lo descrito por Reynolds (1988) ha sido respaldado por estudios en ‘Okanagan Riesling’ (*Vitis* sp.), establecidos en Canadá bajo distintos sistemas de conducción (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993), no obstante, estudios realizados en ‘Muscadina’ (*Vitis rotundifolia*) han mostrado cierta variación, al obtener reducciones significativas de pH en vides podadas mecánicamente y no detectar diferencias en la acidez titulable de la fruta (Sims et al., 1990).

Otros estudios han demostrado que, bajo determinadas condiciones experimentales, se puede podar mecánicamente sin evidenciar diferencias significativas relevantes en términos de pH y acidez de la fruta respecto a una poda manual. Estas experiencias se han observado en la variedad Riesling producida en Australia (Clingeffer, 1988); Welder (*Vitis rotundifolia*) (Andersen et al., 1996); Garnacha, establecida en España (Martínez de Toda y Sancha, 1999); Cabernet Sauvignon, en Portugal (Lopes et al., 2000); Concord (*Vitis labrusca*) producida en Washington, EE.UU.; Barbera, en Piacenza, Italia (Gatti et al., 2011) y Sangiovese, en Faenza, Italia (Caprara y Pezzi, 2013).

Así, en la literatura es frecuente encontrar experiencias que relacionan el aumento de rendimiento con reducciones en parámetros de calidad del jugo de uvas, dentro de los cuales la reducción en la concentración de antocianinas y aceptabilidad del color (combinación de intensidad de color y matiz, según Morris y Cawthon, 1981) parecieran ser afectados en forma más frecuente.

Morris y Cawthon (1981) detectaron que vides Concord (*Vitis labrusca*) podadas mecánicamente produjeron jugo con menor aceptabilidad del color, lo cual podría tener relación con la alta carga frutal en tratamientos de poda ligera. Sims et al. (1990), por su lado, encontraron que el vino producido a partir de vides ‘Muscadina’ (*Vitis rotundifolia*) podadas mecánicamente en seto, sólo el primer año se detectó una disminución significativa en la absorbancia de longitudes de onda de 420 nm (intensidad del color) respecto a la poda manual, lo cual coincide con el año en que la poda mecánica mostró el mayor incremento en rendimiento. Posteriormente, los rendimientos entre los tratamientos de poda manual y mecánica tendieron a igualarse y la intensidad de color también.

Keller et al. (2004), por su lado, llegaron a la conclusión de que, en vides ‘Concord’ podadas mecánicamente, la intensidad del color es el parámetro de calidad más afectado. Cabe destacar que la intensidad del color se redujo, a pesar de que la relación entre superficie foliar y producción de fruta no manifestó signos de sobrecarga. En este caso, la

reducción en la intensidad de color podría explicarse por interacciones relacionadas con la exposición de racimos más que por un exceso de carga frutal.

Gatti et al. (2011) encontraron que en variedad Barbera, a pesar de que ambos tratamientos (poda mecánica y manual) presentaron similar relación entre superficie foliar y rendimiento, la fruta proveniente de plantas podadas mecánicamente mostraron una leve, aunque significativa, reducción en la concentración de antocianinas; $0,75 \text{ mg g}^{-1}$, con poda mecánica y $0,85 \text{ mg g}^{-1}$, con poda manual. No está clara la explicación de esta disminución en la concentración de antocianinas, siendo que el rendimiento y el balance de las plantas se mostraron prácticamente iguales. No obstante, a pesar de que no se realizaron evaluaciones microclimáticas de la zona frutal, existe el consenso general de que el exceso de sombra afecta negativamente la pigmentación de los racimos, lo cual surge como una posible justificación. Igualmente, estos resultados llaman la atención, ya que en los sistemas de conducción de posicionamiento vertical de brotes, follaje libre y con variedades de hábito de crecimiento erecto, como en este estudio, la sombra sobre los racimos se ve interrumpida por rayos de luz ocasionales que penetran el follaje desde diferentes ángulos, por lo que, normalmente, no se debieran manifestar problemas de acumulación de pigmentos. Ahora, dado que las plantas podadas mecánicamente presentaron un mayor número de brotes, es posible que se haya producido un desapercibido aumento en la densidad del follaje, que haya afectado negativamente la concentración de antocianinas y, por ende, el color de las bayas.

Existen otros registros en los cuales a pesar de la buena adaptación a la poda mecánica se han visto desde leves hasta fuertes disminuciones en la intensidad del color (Cruz et al., 2001), en la concentración de antocianinas (Poni et al., 2004; Lopes et al., 2011; Tomasi et al., 2013) y flavonoides (Tomasi et al., 2013), y en la intensidad del sabor (Reynolds, 1988; Lopes et al., 2000; Cruz et al., 2011; Tomasi et al., 2013). Esto último ha sido relacionado con la menor concentración de fenoles totales (Lopes et al., 2000). También se han registrado ocasionales disminuciones en el contenido de etanol en el vino producido con uvas provenientes de vides con poda mecánica (Reynolds, 1988; Cruz et al., 2011).

Si bien existen múltiples estudios que asocian la poda mecánica con diversos grados de reducción en la intensidad del color y sabor del vino, también existen diversas experiencias que muestran que la poda mecánica puede reducir el tamaño de las bayas (Reynolds, 1988; Reynolds y Wardle, 1993; Possingham, 1994; Keller et al., 2004). Respecto a esto, Clingeffer y Krake (1992) señalan que la disminución en el tamaño de las bayas produce un aumento en la relación entre piel y pulpa, lo que puede contribuir a mejorar la calidad del vino a través de efectos en componentes del color y sabor. No obstante, el real aporte de la disminución de tamaño de bayas a la calidad de vino no muestra consenso en la literatura (Matthews y Nuzzo, 2007).

El tamaño de las bayas es ampliamente reconocido como un factor determinante en la calidad del vino. Sin embargo, este concepto ha adquirido aceptación, principalmente, en base a intuición y asunciones implícitas, con débil respaldo experimental. Si bien no hay muchas mediciones que indiquen que la concentración de sólidos en el jugo de bayas de mayor tamaño sea menor, en general, se tiende a creer que sí. Por este motivo, las bayas grandes no son deseadas, asumiendo que en ellas ocurre una dilución de los solutos de

importancia para el sabor y aroma del vino. Sin embargo, esta explicación no considera algunos factores fisiológicos importantes respecto al tamaño de las bayas. En primer lugar, las bayas no crecen simplemente “bombeando” agua dentro de un “contenedor” de solutos encargados del sabor y aroma, sino que las bayas adquieren tamaño mediante un complejo proceso en el que la materia seca (pared celular, membrana, solutos, etc.) aumenta paralelamente con la materia fresca. De este modo, la cantidad total de solutos presentes en la baya es dinámico y, generalmente, aumenta durante el crecimiento y desarrollo (Matthews y Nuzzo, 2007).

Holt et al. (2008) compararon la poda manual en pitón, la poda en cargadores y la poda mecánica de Cabernet Sauvignon; esta última redujo significativamente el tamaño de las bayas, sin embargo, los vinos provenientes de este tratamiento obtuvieron la menor calificación en términos de calidad. Este resultado desafía la ampliamente aceptada creencia de que bayas pequeñas producen mejor vino, sin embargo, estos resultados no son consistentes con otros estudios. Por ejemplo, Clingeleffer (2002, citado por Holt et al., 2008) mostró que bayas más pequeñas de ‘Cabernet Sauvignon’ estaban asociadas a mejor composición del vino y realzan la puntuación de aspectos sensoriales. El rango de peso de baya en el estudio de Clingeleffer (2002) fue mayor (1,03-1,11 g) que en el estudio de Holt et al. (2008) (0,58-0,78 g). Así, es posible deducir que las distintas respuestas entre estos estudios podrían haber sido causadas por distintos rangos de peso de baya y por las diferencias en el tipo de tratamiento aplicado.

Walker et al. (2005) sugieren que para determinar la calidad del vino, más importante que las diferencias empíricas en el tamaño de la baya, es la forma en que se logra el cambio de tamaño. En un experimento realizado por los mismos autores, las bayas producidas por el mismo tratamiento fueron separadas en “bayas pequeñas” y “bayas grandes”, para producir vinos separados, sin embargo, ambos vinos no mostraron diferencias significativas en calidad. Este resultado sugiere que el tamaño de la baya, por sí solo, no necesariamente se relaciona con la calidad del vino.

En cuanto a la forma en que las distintas intensidades de mecanización afectan las propiedades físicas de la baya, un estudio realizado en ‘Sangiovese’ (Caprara y Pezzi, 2013) indicó que los tratamientos con mayor grado de mecanización aumentaron la energía que se necesita para desprender la baya del pedúnculo, lo cual podría ser un obstáculo para la cosecha mecanizada, sin embargo, al analizar la piel de la baya, se pudo determinar que los tratamientos con mayor nivel de mecanización de poda, es decir, completamente mecanizado (sin repase manual) y parcialmente mecanizado (repase manual rápido), producen bayas con pieles significativamente más resistentes al rompimiento, soportando mayor fuerza (N) y energía (mJ) antes de generarse la ruptura, lo cual puede favorecer la calidad del producto cosechado. Si bien el grosor de la piel de las bayas provenientes de estos dos tratamientos fue levemente menor (aunque significativo) respecto a los tratamientos con menor grado de mecanización, es su mayor elasticidad lo que las hace más resistentes al rompimiento. A su vez, Tomasi et al. (2013) analizaron el grosor de la piel de bayas de ‘Pinot Gris’ sometidas a poda manual, mecánica y cero poda, sin encontrar diferencias significativas entre los tratamientos.

Poda mínima

Las plantas podadas mínimamente muestran una ocasional disminución en la concentración de sólidos solubles (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Lakso et al., 1996; Schwab, 2005; Rousseau et al., 2013), un incremento en acidez (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992;) y una disminución del pH (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992;). Adicionalmente, es frecuente encontrar registros que señalan un retraso en la maduración (Clingeffer, 1988; McCarthy y Cirami, 1990; Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer y Sommer, 1993; Schwab, 2005; Rousseau et al., 2013).

Si bien existen registros que relacionan la poda mínima con reducción en la concentración de sólidos solubles, (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Lakso et al., 1996; Rousseau et al., 2013), también existen varios casos que se refieren a estas reducciones como menores (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988) y sin impacto en la calidad de la fruta (Clingeffer y Krake, 1992; Clingeffer, 1988). Estas diferencias, en general, se explican por la interacción entre las condiciones ambientales de la localidad y el tiempo de maduración de la variedad (Schwab, 2005; Rousseau et al., 2013). Así, variedades de maduración media a temprana se adaptan bastante bien a la mínima poda y son menos dependientes de las condiciones ambientales. Las variedades de maduración tardía, por su parte, se adaptan bien a la poda mínima, sólo bajo condiciones de clima mediterráneo, veranos cálidos y con necesidad de riego, donde disponen de un mayor periodo de crecimiento para permitir que la fruta madure (Possingham, 1996). En climas fríos, las variedades de maduración tardía manifiestan problemas de madurez de fruta y reducción en la calidad del vino (Schwab, 2005; Rousseau et al., 2013), convirtiéndose el grado de madurez de las bayas en el factor crítico para producir un vino de buena calidad (Schwab, 2005). Si, además, la localidad presenta veranos lluviosos, lo que promueve un crecimiento vegetativo más o menos continuo, el sistema de poda mínima no representa la mejor alternativa (Possingham, 1996).

En un estudio realizado por Lakso et al. (1996) se registró un aumento del rendimiento de un 30% y una disminución significativa de un 8,4% en la concentración de sólidos solubles en bayas de vides ‘Concord’ sometidas a poda mínima, establecidas en Geneva; al centro-norte del estado de Nueva York, EE.UU. Estos resultados concuerdan con los de Bates y Morris (2009), los cuales, incluso, son más categóricos, indicando que la poda mínima no es recomendable en Nueva York, a menos que se realicen estudios de regulación de carga frutal. Rousseau et al. (2013), a su vez, encontraron que en la localidad de Languedoc-Roussillon, Francia, una variedad de media estación, como Syrah, se adapta bastante bien, mientras que la variedad Mourvedre, tardía, nunca logró obtener suficiente acumulación de azúcar para cumplir con los estándares de calidad. Asimismo, Schwab (2005) condujo un ensayo en dos localidades frías en el centro de Alemania, Leinach y Erlabrunn, en el que probó la adaptación de tres variedades a la poda mecánica ligera; Müller-Thurgau y Bacchus, de maduración temprana, y Silvaner, de maduración tardía; las dos variedades de maduración temprana mostraron una adaptación suficiente como para producir vinos básicos, mientras que la variedad tardía manifestó maduración incompleta de bayas y produjo vino de baja calidad. En este estudio, la maduración de las bayas fue medida en el mosto, a través de la concentración de prolina, un aminoácido que se correlaciona con la

exposición al sol y la acumulación de azúcar en las últimas semanas de maduración de las bayas.

En contraste con las tres experiencias anteriores, asociadas a climas fríos, se pueden encontrar estudios desarrollados en zonas cálidas y regadas de Australia, con resultados que indican una correcta adaptación a la poda mínima. Uno es el caso de Clingeleffer (1984), quien comparó plantas ‘Thompson Seedless’ sometidas a poda mínima y poda convencional, observando que las diferencias en la calidad de la fruta fueron menores, con concentraciones de sólidos solubles de 21,3 y 22,6 °Brix, respectivamente, a pesar de registrar aumentos de rendimiento del orden de un 60% con poda mínima. Cuatro años más tarde, en otro estudio, Clingeleffer (1988) comparó poda manual (pitón), poda mecánica en seto y poda mínima, en un ensayo de selección clonal de Riesling, observando que el aumento en rendimiento provocado por ambos sistemas de poda ligera no se tradujo en una reducción de la calidad de la fruta. La poda mínima, a pesar de que mostró una leve tendencia a la disminución de sólidos solubles respecto a los otros dos sistemas, no mostró impacto significativo en la calidad del vino (Clingeleffer, 1988). Asimismo, en un estudio realizado en vides ‘Cabernet Franc’, bajo riego y podadas tradicionalmente en pitón o cargador, al ser modificadas hacia sistemas de poda mínima, no se vio afectada la madurez de la fruta (Clingeleffer y Krake, 1992).

El retraso de la madurez es una consecuencia bastante reconocida en vides sometidas a poda mínima, observándose tanto en climas cálidos como en climas fríos, y se manifiesta con distinta intensidad en variedades de distinto tiempo de maduración (Clingeleffer, 1988; Clingeleffer y Krake, 1992; Schwab, 2005; Rousseau, 2013), por lo que su impacto en la producción de uva para vino es variable. En general, los retrasos de madurez en zonas de clima cálido y con variedades de maduración temprana son más bien moderados (Clingeleffer, 1988; McCarthy y Cirami, 1990; Clingeleffer y Krake, 1992) y, debido a la mejor condición sanitaria de vides sometidas a poda mínima en comparación con podas más severas, estos retrasos pueden compensarse postergando la fecha de cosecha (Schwab, 2005). Sin embargo, en climas fríos y, particularmente con variedades tardías, los retrasos en la madurez de las bayas pueden ser importantes y, en algunos casos, la maduración de la fruta no se completa (Schwab, 2005; Rousseau et al., 2013).

Así, Clingeleffer (1988) registró un retraso de tres a cuatro días en ‘Thompson Seedless’, respecto a su contraparte manual, no obstante, la magnitud del retraso no fue de importancia comercial. Esta experiencia concuerda con el tiempo de retraso registrado por McCarthy y Cirami (1990) en diferentes clones de Riesling, Malbec y Semillon. Por su parte, Clingeleffer y Krake (1992) observaron que la poda mínima sólo mostró una leve tendencia a retrasar la madurez en ‘Cabernet Franc’ y este retraso no tuvo impacto comercial. Estudios más recientes, realizados en climas fríos, indican que, dependiendo de la temporada, la mínima poda genera retrasos de madurez de entre cinco y 15 días en variedades de maduración temprana y media estación (Schwab, 2005), y hasta 25 días de retraso en Syrah, de media estación (Rousseau et al., 2013). Resultados de Clingeleffer y Sommer (1993) concuerdan con los anteriores, al observar que en vides ‘Cabernet Sauvignon’, plantadas en la región cálida de Australia, la poda mínima produjo un retraso en la maduración de la uva respecto a la poda severa. Adverten, además, que durante una temporada más fría el retraso en la maduración fue mayor. Cabe destacar que aquella

temporada más fría también coincidió con una mayor diferencia en rendimiento entre ambos tipos de poda, por lo que no se logró definir si la causa del retraso en la madurez se debió a interacción entre bajas temperaturas y poda mínima, o a que justamente esa temporada las plantas bajo poda mínima produjeron relativamente más fruta que las plantas con poda severa, alterando el balance entre área foliar y producción.

La poda mínima en zonas de clima cálido produjo cambios leves en el pH y la acidez de uvas de variedades Thompson Seedless (Clingeleffer, 1984), diferentes clones de Riesling (Clingeleffer, 1988) y Cabernet Franc (Clingeleffer y Krake, 1992), pero sin afectar la calidad de la fruta en términos comerciales. Clingeleffer (1984) sólo detectó cambios leves en el pH y acidez al aplicar poda mínima durante cinco años a vides 'Thompson Seedless'. En este caso, el pH bajó de 3,67 a 3,58 y la acidez titulable disminuyó de 5,37 a 5,24 g L⁻¹ de ácido tartárico. Por su parte, Clingeleffer y Krake (1992) encontraron que el pH se redujo significativamente y se observó un aumento ocasional de la acidez. Rousseau et al. (2013) concuerdan, indicando que en vinos con la misma concentración de alcohol, la poda mínima reduce el pH, lo que desde el punto de vista enológico tiene importantes consecuencias: mejora el color, aumenta la estabilidad microbiológica y cambia algunas características sensoriales. Además, reportan una disminución en el contenido de potasio, lo cual se asocia a la detención anticipada del crecimiento de brotes y al menor tamaño de bayas. También observaron una disminución de la acidez total, debido a una fuerte disminución en el contenido de ácido málico, muy superior al aumento registrado en el contenido de ácido tartárico. La reducción del contenido de ácido málico puede ser consecuencia de la fuerte disminución del vigor de los brotes de vides podadas mínimamente. Cabe destacar que el contenido de ácido tartárico en las bayas, medido en gramos, fue menor en vides podadas mínimamente, lo cual se puede explicar debido al menor tamaño de las bayas, sin embargo, al considerar todo el volumen de jugo producido por las uvas de una planta, la cantidad total de ácido tartárico es mayor en vides con poda mínima.

Por otro lado, se ha reportado que la poda mínima puede reducir el contenido de nitrógeno asimilable en el mosto, lo que puede afectar la calidad de la fermentación. También se han reportado reducciones de los niveles de antocianinas (26%) y de polifenoles totales (22%) en la baya (Rousseau et al., 2013).

Al realizar análisis sensoriales, se puede notar que los cambios fueron menos notorios respecto a los análisis químicos, no obstante, se observa que los vinos producidos a partir de vides sometidas a poda mínima son ligeramente menos intensos y frutales, menos concentrados y más ácidos, lo que se traduce en mayor frescor (Rousseau et al., 2013). Schwab (2005), por su parte, indica que la poda mínima asociada a variedades de maduración temprana produjo vinos más delgados, más frutales y con sabores más vegetales. Al respecto, los sabores vegetales se pueden asociar a una mayor cantidad de aminoácidos azufrados, sin embargo, cabe mencionar que, en este estudio, realizado en clima frío, las vides podadas mínimamente desarrollaron un área foliar tres a ocho veces superior al de vides podadas manualmente, lo que puede estar relacionado con estos sabores. Así, el estilo general de vinos obtenidos con poda mínima es equilibrado y se adapta a los requerimientos de consumidores que optan por vinos más ligeros y frescos.

Además, cabe destacar que Rousseau et al. (2013) señalan que el perfil de vinos obtenidos a partir de poda mínima es más estable a lo largo de las temporadas, lo cual representa una importante característica desde un punto de vista comercial.

En cuanto al posible efecto del tamaño de las bayas en la calidad del vino, Clingeleffer y Krake (1992) observaron que, en vides ‘Cabernet Franc’, al pasar de poda tradicional a poda mínima, se produjo una importante reducción del tamaño de las bayas, alcanzando reducciones de hasta un 30%, aumentando la relación entre piel y pulpa, lo que, según los autores, puede contribuir a mejorar la calidad del vino a través de efectos en componentes del color y sabor. Sin embargo, tal como se explicó en el capítulo anterior, existen discrepancias respecto al posible efecto benéfico de la reducción del tamaño de las bayas sobre la calidad del vino, por lo que este aspecto está en discusión y se requiere de mayor evidencia científica para establecer su real aporte a la calidad del vino.

Sanidad

Poda en seto

Becker y Pearson (1988) señalan que se ha detectado una mayor incidencia de Excoriosis de la vid, provocado por *Phomopsis viticola*, en viñedos podados mecánicamente (seto) que en aquellos podados manualmente en sistemas de conducción como *Umbrella Kniffin* (UK) y que al pasar de poda mecánicamente en seto a UK, la incidencia de la enfermedad baja significativamente al primer año. Más aún, en vides podadas mecánicamente, que han sido sometidas a aplicaciones fitosanitarias para controlar la enfermedad, ésta se desarrolla en magnitudes similares a las registradas en aquellas plantas conducidas en UK, pero que no han recibido ningún tipo de tratamiento sanitario. Por otro lado, en este estudio se establece que, ante un mismo manejo fitosanitario, la incidencia observada en vides podadas mecánicamente en seto es comparable con el de vides conducidas en cordón y podadas manualmente. Estos resultados se pueden explicar debido a que la poda en seto tiende a dejar mayor cantidad de nudos retenidos en la planta respecto a la poda manual, manteniendo una mayor cantidad de madera potencialmente enferma, lo que conduce a una mayor cantidad de inóculo total. Adicionalmente, la poda en seto genera una considerable cantidad de madera muerta, la cual puede permanecer produciendo inóculo por hasta tres años más. El repase manual, realizado posterior a la poda mecánica, sólo ha mostrado ser efectivo en la disminución de la enfermedad cuando el programa fitosanitario ha fallado, por lo que podría ser de interés para viñedos orgánicos, donde la restricción en el uso de productos químicos puede justificar este incremento de mano de obra para sostener viñedos de difícil manejo sanitario.

Otra enfermedad, estudiada por Becker y Pearson (1988) en relación a la poda mecánica, es la pudrición negra de la vid, la cual es provocada por el hongo *Guignardia bidwellii*. Los autores señalan que este hongo generalmente inverna en fruta momificada que queda sobre el suelo, sin embargo, en viñedos podados en seto y cosechados mecánicamente, suele invernar también en la planta, lo que los hace presentar una mayor incidencia de la enfermedad. Esto se debe a que se genera una fuente de inóculo adicional, que tiene la

capacidad de liberar ascosporas y conidias más avanzado en la temporada de lo que lo hacen las momificaciones que quedan en el suelo, prolongándose así la vigencia del inóculo primario. Estos autores indican que una correcta aplicación de fungicidas conduce a un buen control de la enfermedad, independientemente del sistema de poda, no obstante, vides podadas mecánicamente muestran, consistentemente, un mayor porcentaje de racimos con pudrición negra comparado con los racimos de vides podados manualmente (conducidas en UK y en cordón).

También, el aumento de ritidoma en plantas con poda mínima aumenta la cantidad de grietas que pueden retener y alojar cleistotecios de *Uncinula necator*, por lo que aumenta el potencial de desarrollar oidio de la vid (Becker y Pearson, 1988). Este mismo criterio se puede aplicar a plantas podadas mecánicamente, considerando que hay una tendencia al envejecimiento de madera, lo que puede favorecer la retención de cleistotecios que proporcionen la fuente de inóculo primario en primavera.

La producción de racimos sueltos, normalmente atribuidos a plantas con poda mínima, tienen un efecto beneficioso al reducir la propagación de botritis, mediante una reducción del contacto directo entre bayas y al reducir la probabilidad de ruptura de bayas por compactación, lo que produce la liberación de jugo apto para para que el hongo prospere (Becker y Pearson, 1988). Desde ese punto de vista, si la poda mecánica logra reducir la compactación de racimos, podría ser posible disminuir la incidencia de la enfermedad. En la misma línea, un estudio de tres años, realizado en ‘Okanagan Riesling’, en Canadá, mostró que la poda mecánica redujo la incidencia de fruta infectada con botritis aquellos años en que se observó presencia de la enfermedad en el viñedo. Esto se podría explicar debido a que la poda mecánica promueve la formación de un mayor número de brotes, pero de menor tamaño, lo que resulta en un follaje menos denso, lo que induce a menos infecciones (Reynolds, 1988).

La muerte progresiva de la vid o eutipiosis, causado por *Eutypa lata*, también puede ser controlada mediante la poda en seto, siempre y cuando se tenga la precaución de concentrar los cortes de la máquina sobre madera de un año, evitando realizar cortes sobre madera de más edad. De este modo, se estaría reduciendo la posibilidad de que se produzca infección de troncos o brazos, donde está el potencial de daño (Becker y Pearson, 1988).

Otros estudios han buscado clarificar si, a través de modelos menos invasivos, como no podar, se pueden adoptar técnicas que se adecúen de mejor forma a la fisiología de la planta, obteniendo así uvas de alta calidad, a bajo costo y, al mismo tiempo estimulando las habilidades naturales de defensa que posee la vid a través de la síntesis de estilbenos (Tomasi et al., 2013). Al respecto, al analizar el contenido de diferentes estilbenos en vides ‘Cabernet Sauvignon’ sometidas a poda manual, mecánica y cero poda, se observó un mayor contenido de trans-resveratrol en plantas no podadas ($2,88 \text{ g L}^{-1}$) y un contenido levemente inferior en plantas podadas mecánicamente, mientras que las plantas podadas manualmente presentaron niveles considerablemente más bajos. Las vides podadas mecánicamente presentaron los mayores niveles de resveratrol glicosilado o trans-piceína; estas diferencias pueden deberse a las diferencias en la relación entre pulpa y piel (provocado por podas ligeras) o a la influencia directa del tipo de poda en la síntesis de estos componentes. En ‘Pinot Gris’, el mismo estudio, no arrojó diferencias significativas

en el contenido de estilbenos en el mosto, debido, en parte, al tipo de vinificación de uvas blancas (Tomasi et al., 2013).

Poda mínima

Becker y Pearson (1988) relacionaron la forma en que crecen vides sometidas a poda mínima y la acumulación progresiva de madera con la presencia de *Uncinula necator* y manifestación de la enfermedad asociada a este hongo, oidio de la vid. En este sentido, señalan que una parte de las estructuras de resistencias formadas por el oidio de la vid (cleistotecios) son removidas de su sitio, por efecto de la lluvia, y distribuidas mediante el flujo de agua hacia otras partes de la planta y el suelo. Los cleistotecios que quedan en la planta, normalmente en grietas del ritidoma, son los que mejor sobreviven al invierno y proporcionan la principal fuente de inóculo primario en primavera. Así, el creciente aumento de superficie de ritidoma y otras estructuras permanentes en vides con poda mínima permite la retención de un mayor número de cleistotecios y, así, un mayor potencial de desarrollar esta enfermedad (Becker y Pearson, 1988).

Botritis es una enfermedad que, normalmente, es menos problemática en sistemas de poda mínima. Vides podadas mínimamente tienden a producir una mayor cantidad de racimos, pero más chicos y más sueltos, comparados con los que se producen en vides podadas convencionalmente. Dado que botritis se puede propagar entre racimos mediante el contacto directo de una baya con otra, la separación física que existe entre bayas de racimos más sueltos y la mayor dispersión de los racimos (Clingeffer, 1984; Clingeffer, 1988; Clingeffer y Krake, 1992) minimizan dicha propagación. Adicionalmente, botritis prospera de buena forma en el jugo que liberan las bayas que se rompen, daño que se aprecia comúnmente en racimos muy compactos y que se minimiza en los racimos sueltos producidos en plantas con poda mínima. Además, la ubicación de los racimos, que en vides podadas mínimamente tienden a estar hacia el exterior del follaje, también reduce la incidencia de botritis, al cambiar el microclima en el cual se desarrolla el racimo (Becker y Pearson, 1988).

La muerte progresiva de la vid o eutipiosis, es otra enfermedad que se puede ver reducida por prácticas de poda ligera o mínima (Becker y Pearson, 1988).

Al aplicar poda mínima a plantas de ‘Cabernet Franc’, infectadas con combinaciones de *grape leafroll virus* y *grapevine yellow speckle virus*, causantes del enrollado de la hoja de la vid y moteado amarillo de la vid, respectivamente, Clingeffer y Krake (1992) observaron una amplificación de los síntomas (reducción de rendimiento) al implementar poda mínima; los síntomas se presentaron más tempranamente respecto al tratamiento control, podado en pitón. Los autores, además, compararon la incidencia del tipo de poda manual que se realizaba previamente a la implementación de la poda mínima, encontrando que el aumento en los síntomas fue más evidente en aquellas plantas que se podaban en cargadores antes de ser transformadas a poda mínima, mientras que el efecto fue más tenue en aquellas transformadas desde poda en pitones a poda mínima, lo cual es entendible considerando que la poda en cargador era poda más severa y reducía el vigor. Los autores sugieren la posibilidad de que la poda severa tradicional ejerza una restricción productiva

que tienda a reducir diferencias en la expresión de los síntomas de los virus, tal como ocurre con la expresión del potencial productivo en selecciones clonales.

Aspectos económicos y de manejo relevantes

Poda en seto

Mitchell (1993) indica que la incorporación de la cosecha mecánica (1965) y, posteriormente, la poda mecánica permitió que los costos de producción por hectárea se redujeran en cerca de un 70%, en los siguientes 30 años. El autor señala, además, que la poda mecánica redujo los costos asociados a poda en un 64%, debido a la disminución en la cantidad jornadas-hombre requeridas en la poda y a la posibilidad de eliminar la labor de amarra.

La poda invernal de vides es una operación que consume una gran cantidad de tiempo, ya que si se realiza en forma manual requiere entre 60 y 120 horas-hombre por hectárea, dependiendo del vigor, sistema de conducción, equipamiento de poda y habilidad o experiencia de la mano de obra, esta última cada vez más escasa (Gatti et al., 2011). Andersen et al. (1996) coinciden con los valores señalados por Gatti et al. (2011), pero sólo cuando se trata de *Vitis vinifera*, indicando que para *Vitis rotundifolia* y, posiblemente, para otras especies vigorosas del género *Vitis*, los valores pueden ascender a 200 horas por hectárea. Adicionalmente, en vides cosechadas mecánicamente y con posicionamiento vertical de brotes, la poda manual reúne el 75% de las horas totales de trabajo manual que se utilizan durante un año, y el 41% del costo anual (Gatti et al., 2011). Por su parte, Cruz et al. (2011) señalan que en España se estima que la poda manual consume aproximadamente un 30% de los requerimientos totales de mano de obra, mientras que en Italia asciende al 36%.

Así, el uso continuo de poda mecánica, en combinación con otras labores mecanizadas, permite obtener retornos mayores a los alcanzados en viñedos manejados manualmente (Wilson, 1983). Diversas experiencias coinciden con esta afirmación; Poni et al. (2004), por ejemplo, señalan que el ahorro de tiempo al podar mecánicamente fue entre un 50% y un 62%, respecto a la poda manual, y aclaran que el ahorro específico en cada caso dependerá de la intensidad del repase manual. Gatti et al. (2011) indican que la poda mecánica con repase manual severo ahorra un 54% de las horas utilizadas en poda, respecto a la poda manual, mientras que la poda mecánica con repase manual ligero generó un ahorro de un 70% en las horas anuales utilizadas en poda, respecto a la poda manual. Cabe mencionar que, en este estudio, la diferencia en tiempo entre el repase manual ligero y severo fue de ocho horas por hectárea, es decir, una jornada por hectárea. Los autores concluyen que un viñedo completamente mecanizado de variedad Barbera, conducido en sistema de posicionamiento vertical de brotes, se puede manejar con menos de 70 horas-hombre por hectárea.

Wilson (1983) observó que con la incorporación de la poda mecánica en *Vitis vinifera*, la cantidad de gente requerida para la realización de la poda se redujo a la mitad. A su vez,

Andersen et al. (1996) encontraron una reducción de costos de 75-80% en *Vitis rotundifolia* al podar mecánicamente. Freeman y Cullis (1981), por su lado, indican que el uso de equipos de poda mecánica aumenta la eficiencia de la poda en 40 veces, de tal modo que una persona puede pasar de podar 10 a 400 ha en la temporada, siendo posible reducir considerablemente la cantidad de gente necesaria para realizar la poda invernal. Así, la incorporación de la poda mecánica entrega la posibilidad de mejorar la eficiencia de los equipos de trabajo mediante la selección de una menor cantidad de personas, pero que cuenten con mayores habilidades para la labor en cuestión, lo que se traduce en mayores velocidades de avance, por lo tanto, en la posibilidad de ajustar los tratos de la labor (Wilson, 1983).

Caprara y Pezzi (2013) compararon cuatro tratamientos de poda, que consistieron en poda manual, parcialmente mecanizada (dos tipos de repase manual: posterior al paso de la máquina o simultáneo en tándem) y completamente mecanizada (sin repase manual) en la variedad Sangiovese conducida en cordón apitonado; la maquinaria utilizada fue una barra de corte en “U” invertida y la velocidad de avance del tractor llegó a un máximo de 1.080 m h⁻¹, pues esta baja velocidad era requerida por el alto nivel de precisión deseado en el corte, para cumplir con la pauta indicada; pitones de una y dos yemas. En el tratamiento de poda mecánica con repase manual simultáneo o en tándem se adaptó una plataforma tras el tractor donde se dispusieron dos podadores; en este caso la velocidad de avance fue aún menor (575m h⁻¹), para permitir a los podadores terminar la poda según lo deseado. Se concluyó que velocidad de la poda o repase manual fue aumentando a medida que aumentaba el nivel de mecanización, debido a que la máquina reduce considerablemente la cantidad de material a podar; la velocidad de avance de los podadores fue de 48,6; 100,8 y 575 m h⁻¹ en los tratamientos de poda completamente manual, mecánica con repase manual posterior y manual con repase simultáneo en tándem, respectivamente. El gran aumento de velocidad del último tratamiento se debe a que los podadores que iban sobre la plataforma igualaron su velocidad de avance a la del tractor. La frecuencia de corte de los podadores fue de 30; 39 y hasta 50 cortes por minuto en los tratamientos de poda completamente manual, mecánica con repase manual posterior y manual con repase simultáneo en tándem, respectivamente, lo cual se explica porque la máquina podadora despeja la zona de trabajo para que el podador solo se encargue de usar la tijera, evitando ciertas acciones propias de una poda con gran cantidad de sarmientos que conducen a retrasar la labor. Adicionalmente, los tiempos necesarios para efectuar la poda invernal fueron muy diferentes entre tratamientos, mostrando una disminución en el tiempo empleado por hectárea en la medida que aumentó el grado de mecanización. Así, la poda completamente mecanizada alcanzó una reducción de un 95% en las horas utilizadas para podar una hectárea, mientras que la poda mecánica con repase simultáneo alcanzó un 75% de ahorro y la poda mecánica con repase posterior, un 47% de ahorro de tiempo respecto a la poda completamente manual.

En el estudio de Caprara y Pezzi (2013), al evaluar el costo unitario (ha) de podar un viñedo “tipo” de 10 hectáreas, la poda completamente mecanizada generó un ahorro de un 71% respecto al costo de podar manualmente. Cabe señalar que la fuerte reducción de costo observada en este estudio, dice directa relación con los valores de mano de obra, en Italia, por lo que las conclusiones sólo deben considerarse a modo referencial.

Poda mínima

La fruta, en plantas podadas mínimamente, puede tender a ubicarse más próxima al suelo que en plantas podadas convencionalmente. Si esto no se maneja adecuadamente puede significar un obstáculo para la cosecha mecanizada, debido a que la fruta puede quedar fuera del rango de operación de la máquina cosechadora, sea porque quede fuera de la zona de trabajo de los sacudidores o fuera de alcance de los elementos de recolección (Clingeffer, 1984).

Al medir la defoliación ocasionada por la cosecha mecanizada, Clingeffer (1984) observó que vides 'Thompson Seedless' podadas mínimamente soportaban mejor el paso de la máquina, siendo removidas sólo el 50% de las hojas, mientras que en plantas podadas convencionalmente alcanzó al 70%, lo cual excede el 60% propuesto por Sholefield et al. (1977) como el límite sobre el cual la defoliación tiene efectos adversos en la planta. Adicionalmente, se pudo observar que las plantas podadas convencionalmente sufren niveles de daño superior con el paso de la maquinaria de cosecha.

CONCLUSIONES

La poda mecánica surgió para podar con menor intervención manual.

Los beneficios económicos de suprimir la intervención manual dieron lugar a estudios que reemplazaron la poda manual por la poda mecánica.

La poda mecánica reduce la severidad de la poda invernal, aunque la magnitud de esta reducción es variable.

Los sistemas de poda mecánica más evaluados son la poda mecánica en seto y la poda mínima.

A medida que la severidad de la poda disminuye, la capacidad potencial de la vid aumenta y el vigor se reduce.

El aumento de la capacidad potencial se debe a la mayor cantidad de yemas que quedan disponibles.

El aumento de la capacidad es limitado pues las vides activan mecanismos de autorregulación o compensación, que equilibran la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo.

Los mecanismos de autorregulación varían entre variedades, existiendo casos de baja y de alta capacidad de autorregulación.

Idealmente, la poda mecánica induce aumentos de carga frutal hasta equilibrar las capacidades fotosintéticas de la vid, para obtener el mayor rendimiento posible, manteniendo o mejorando la calidad de la uva y del vino.

La poda mecánica puede exceder la capacidad de la planta e inducir desequilibrios, lo que puede resultar en producciones alternadas, menor maduración de brotes, menor resistencia al frío invernal, escasa acumulación de reservas, maduración incompleta de fruta, menor calidad del vino y decaimiento productivo del viñedo.

La adaptación al sistema de poda mecánica se logra cuando se ajusta la interacción entre la severidad de la poda mecánica, y la autorregulación, considerando aspectos, como el potencial genético, el clima, la sanidad, el hábito de fructificación, el tiempo de maduración, el manejo hídrico, la fertilización y el tipo de vino que se quiere producir.

La intensidad de la poda mecánica en seto se ajusta con el tamaño y forma del seto.

La intensidad de la poda mínima se ajusta con severidad del “faldeo”.

Los sistemas de poda mecánica correctamente adaptados, pueden producir vinos prácticamente iguales a los que se producen con podas manuales.

Algunos cambios en las características de los vinos provenientes de vides podadas mecánicamente, pueden ser atributos atractivos al consumidor y abrir oportunidades comerciales para el desarrollo de nuevos vinos, que diversifiquen la oferta de productos y abran nuevos mercados.

BIBLIOGRAFÍA

Andersen, P.C.; C.A. Sims and J.H. Harrison. 1996, January. Influence of simulated mechanized pruning and hand pruning on yield and berry composition of *Vitis rotundifolia* 'Noble' and 'Welder'. *American Journal of Enology and Viticulture*, 47(3): 291-296.

Antcliff, A.J. 1965, February. A comparison of cropping levels in 'Sultana'. *Vitis*, 5(1): 1-9.

Bates, T. and J. Morris. 2009, April-June. Mechanical cane pruning and crop adjustment decreases labor costs and maintains fruit quality in New York 'Concord' grape production. *HortTechnology*, 19(2): 247-253.

Becker, C.M. and R.C. Pearson. 1988. Disease and insect management considerations for machine pruned vineyards. (pp. 46-50). In: Proceedings of the Second Nelson J. Shaulis Grape Symposium (13 and 14 July 1993, Cornell University). Pruning mechanization and crop control. R.M. Pool (Ed.). Fredonia, USA: Cornell University. 68p.

Buttrose, M.S. 1966, August. The effect of reducing leaf area on the growth of roots, stems and berries of 'Gordo' grape-vines. *Vitis*, 5(6): 455-464.

Caprara, C. and F. Pezzi. 2013, September. Effect of different winter pruning systems on grapes produced. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2): 421-424.

Carbonneau, A. and D.P. Zhang. 1988. Influence of winter pruning on grapevine physiology: Consequences for mechanical pruning and justifications of the principle of the "Alternated Crenel". (pp. 112-120). In: Proceedings of the Second International Seminar on Mechanical Pruning of Vineyards (15 to 20 February 1988). Edagricole (Ed.). Treviso, Italy. 173p.

Clingeffer, P.R. 2013. Mechanization in Australian vineyards. *Acta Horticulturae*, 978: 169-177.

Clingeffer, P.R. 1996. Mechanization of winegrape production in Australia. (pp. 39-48). In: Proceedings for the First Vincent E. Petrucci Viticulture Symposium (10 and 11 July 1996, California State University). The Institute (Ed.). Fresno, California, USA: California Agricultural Technology Institute. 171p.

Clingeffer, P.R. 1988. Response of 'Riesling' clones to mechanical hedging and minimal pruning of cordon trained vines (MPCT) – implications for clonal selection. *Vitis*, 27: 87-93.

Clingeffer, P.R. 1984. Production and growth of minimal pruned 'Sultana' vines. *Vitis*, 23: 42-54.

Clingeffer, P.R. and K.J. Sommer. 1993. Comparison of leaf area development, leaf physiology, berry maturation, juice quality, and fruit yield of minimal and cane pruned Cabernet Sauvignon grapevines. (pp. 14-19). In: Proceedings of the Second Nelson J. Shaulis Grape Symposium (13 and 14 July 1993, Cornell University). Pruning mechanization and crop control. R.M. Pool (Ed.). Fredonia, USA: Cornell University. 68p.

Clingeffer, P.R. and L.R. Krake. 1992, January. Responses of 'Cabernet Franc' grapevines to minimal pruning and virus infection. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43: 31-37.

Cruz, R.; C. Piovene; A. Claro; A. Rodrigues and R. Castro. 2011. Mechanical pruning on a vertical shoot positioning system in Dão region. (pp. 575-577). In: 17th International Symposium GiESCO (29 August to 2 September 2011, Asti). Novello V., M. Bovio y S. Cavalletto (Eds.). Asti-Alba, Italy: GiESCO. 605p.

Dai, Z.W.; N. Ollat; E. Gomès; S. Decroocq; J. Tandonnet; L. Bordenave et al. 2011, December. Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry and composition: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(4): 413-425.

Di Collalto, G.; O. Silverstoni and C. Intrieri. 1988. Winter Mechanical Pruning of Grape: Preliminary Trials in Tuscany. pp. 163-167. In: Proceedings of the Second International Seminar on Mechanical Pruning of Vineyards (15 to 20 february 1988). Edagricole (Ed.). Treviso, Italy. 173p.

Dokoozlian, N. 2013. The evolution of mechanized vineyard production systems in California. *Acta Horticulturae*, 978: 265-278.

Fisher, K.H.; B. Piott and J. Barkovic. 1996. Adaptability of *labrusca* and french hybrid grape varieties to mechanical pruning and mechanical hedging. (pp 33-39). In: Proceedings for the Fourth International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture (16 to 20 July 1996, Rochester Riverside Convention Center). Henick-Kling, T. et al. (Eds.). Geneva, New York, USA: New York State Agricultural Experiment Station. 648p.

Freeman, B.M. and B.R. Cullis. 1981, January. Effect of hedge shape for mechanical pruning of vinifera vines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 32(1): 21-25.

Gatti, M.; S. Civardi; F. Bernizzoni and S. Poni. 2011, June. Long-term effects of mechanical winter pruning on growth, yield, and grape composition of 'Barbera' grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(2): 199-206.

Holt, H.E.; I.L. Francis; J. Field; M.J. Herderich and P.G. Iland. 2008, August. Relationships between berry size, berry phenolic composition and wine quality scores for 'Cabernet Sauvignon' (*Vitis vinifera* L.) from different pruning treatments and different vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14: 191-202.

Intrieri, C. 2013. Research and innovation for full mechanization of italian vineyards at Bologna University. *Acta Horticulturae*, 978: 151-168.

Intrieri, C.; I. Filippetti; G. Allegro; G. Valentini; C. Pastore and E. Colucci. 2011, September. The Semi-Minimal-Pruned hedge: a novel mechanized grapevine training system. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(3): 312-318.

Intrieri, C.; S. Poni; G. Lia, and M. Gomez del Campo. 2001, January. Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned 'Sangiovese' grapevines. *Vitis*, 40(3): 123-130.

Intrieri, C. and S. Poni. 2000. Physiological response of winegrape to management practices for successful mechanization of quality vineyards. *Acta Horticulturae*, 562: 33-47.

Intrieri, C. y S. Poni. 1995, January. Integrated evolution of trellis training systems and machines to improve grape and vintage quality of mechanized italian vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46: 116-127.

Intrieri, C. O. Silvestoni, and S. Poni. 1988. Long-term trials on winter mechanical pruning of grapes. (pp. 168-173). En: Proceedings of the Second International Seminar on Mechanical Pruning of Vineyards (15 to 20 february 1988). Edagricole (Ed.). Treviso, Italy. 173p.

Jackson, D.I. and P.B. Lombard. 1993, January. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44: 409-430.

Jackson, D.I.; G.F. Steans and P.C. Hemmings. 1984, January. Vine response to increase node number. *American Journal of Enology and Viticulture*, 35: 161-163.

Keller, M.; L.J. Mills; R.L. Wample and S.E. Spayd. 2004, January. Crop load management in 'Concord' grapes using different pruning techniques. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(1): 35-50.

Kliewer, W.M. and N.K. Dokoozlian. 2001. Leaf area/crop weight ratios of grapevine: Influence on fruit composition and wine quality. (pp. 285-295). In: Proceedings for the American Society for Enology and Viticulture 50th Anniversary Annual Meeting (19 to 23 july 2000, Convention and Trade Center, Seattle). Rantz J.M. (Ed.). Seattle, Washington, USA: American Society for Enology and Viticulture. 369p.

Lakso, A.N.; S.S. Denning; R. Dunst; A. Fendinger and R.M. Pool. 1996. Comparisons of growth and gas exchange of conventionally- and minimally-pruned 'Concord' grapeveines. (pp. 11-12). In: Proceedings for the Fourth International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture (16 to 20 july 1996, Rochester Riverside Convention Center). Henick-Kling, T. et al. (Eds.). Geneva, New York, USA: New York State Agricultural Experiment Station. 648p.

- Lopes, C.; J. Melicias; A. Aleixo; O. Laureano and R. de Castro. 2000. Effect of mechanical hedge pruning on growth, yield and quality of 'Cabernet Sauvignon Grapevines'. *Acta Horticulturae*, 526: 261-268.
- Main, G.L. and J.R. Morris. 2008, June. Impact of pruning methods on yield components and juice and wine composition of 'Cynthiana' grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(2): 179-187.
- Martínez de Toda, F. and J.C. Sancha. 1999, January. Long-term effects of simulated mechanical pruning on 'Grenache' vines under drought conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50: 87-90.
- Martínez de Toda, F. 1991. *Biología de la vid: fundamentos biológicos de la viticultura*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 346p.
- Matthews, M.A. and V. Nuzzo. 2007. Berry size and yield parameters on grapes and wine quality. *Acta Horticulturae*, 754: 423-435.
- May, P.; N.J. Shaulis and A.J. Antcliff. 1969, January. The effect of controlled defoliation in sultana vine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 20: 237-240.
- McCarthy, M.G. and R.M. Cirami. 1990, August. Minimal pruning effects on the performance of selections of four *Vitis vinifera* cultivars. *Vitis*, 29: 85-96.
- Mitchell T.G. 1993. Vineyard mechanization and its impact on production costs in the Taylor Wine Company vineyards. (pp. 66-68). In: Proceedings of the Second Nelson J. Shaulis Grape Symposium (13 and 14 July 1993, Cornell University). Pruning mechanization and crop control. R.M. Pool (Ed.). Fredonia, USA: Cornell University. 68p.
- Morris, J.R. 2007, October-December. Development and commercialization of a complete vineyard mechanization system. *HortTechnology*, 17(4): 411-420.
- Morris, J.R. 1993. Effect of mechanical pruning and mechanical shoot positioning on yield and quality of grapes. (pp. 57-66). En: Proceedings of the Second Nelson J. Shaulis Grape Symposium (13 and 14 July 1993, Cornell University). Pruning mechanization and crop control. R.M. Pool (Ed.). Fredonia, USA: Cornell University. 68p.
- Morris, J.R. 1985, December. Approaches to More efficient vineyard management. *HortScience*, 20: 1008-1013.
- Morris, J.R. and D.L. Cawthon. 1981, January. Yield and quality response of 'Concord' grapes (*Vitis labrusca L.*) to mechanized vine pruning. *American Journal of Enology and Viticulture*, 32(4): 280-282.
- Morris, J.R.; D.L. Cawthon and J.W. Fleming. 1975. Effect of mechanical pruning on yield and quality of 'Concord' grapes. *Arkansas Farm Research*, 24(3): 12.

- Naor, A.; Y. Gal, and B. Bravdo. 1997, September. Crop load affects assimilation rate, stomatal conductance, stem water potential and water relations of field-grown Sauvignon Blanc grapevines. *Journal of Experimental Botany*, 48(314): 1675-1680.
- Newson, D.N. and R.J. Nettelbeck. 2013. Precision mechanization in Australian wine industry for product quality, and financial sustainability. *Acta Horticulturae*, 978: 355-367.
- Pezzi, F.; G. Balducci; E. Barca and C. Caprara. 2013. Effect of winter pruning on physical and mechanical properties of grapes. *Acta Horticulturae*, 978: 347-352.
- Pollock, J.G.; E.S. Shephardson; N.J. Shaulis and D.E. Crowe. 1997. Mechanical pruning of American hybrids grapevines. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 20(5): 817-821.
- Poni, S.; F. Bernizzoni and S. Civardi. 2008. The effect of early leaf removal on whole-canopy gas exchange and vine performance of *Vitis vinifera* L. Sangiovese. *Vitis*, 47(1): 1-6.
- Poni, S.; F. Bernizzoni; P. Presutto and B. Rebutti. 2004, January. Performance of 'Croatina' under short-cane mechanical hedging: a successful case of adaptation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(4): 379-388.
- Pool, R.M.; R.E. Dunst; D.C. Crowe; H. Hubbard; G.E. Howard and G. DeGolier. 1993. Predicting and controlling crop on machine or minimal pruned grapevines (pp. 31-45). In: Proceedings of the Second Nelson J. Shaulis Grape Symposium (13 and 14 July 1993, Cornell University). Pruning mechanization and crop control. R.M. Pool (Ed.). Fredonia, USA: Cornell University. 68p.
- Pool, R.M.; D.C. Crowe and R.E. Dunst. 1988. The use of combined mechanical or minimal pruning and mechanical thinning in the New York vineyard production system. (pp. 39-46). In: Proceedings of the Second International Seminar on Mechanical Pruning of Vineyards (15 to 20 February 1988). Edagricole (Ed.). Treviso, Italy. 173p.
- Possingham, J.V. 1996. Factors affecting the quality of wine from minimally pruned vines. *Acta Horticulturae*, 427: 387-393.
- Possingham, J.V. 1994, July. New Concepts in Pruning Grapevines. *Horticultural Reviews*, 16: 235-254.
- Reynolds, A.G. 1988, January. Response of Okanagan Riesling vines to training system and simulated mechanical pruning. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39(3): 205-212.
- Reynolds, A.G.; R.M. Pool and L.R. Mattick. 1986. Influence of cluster exposure on fruit composition and wine quality of 'Seyval Blanc' Grapes. *Vitis*, 25: 85-95.

Reynolds, A.G. and D.A. Wardle. 1993, January. Yield component path analysis of Okanagan Riesling vines conventionally pruned or subjected to simulated mechanical pruning. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(2): 173-179.

Rousseau, J.; L. Pic; A. Carbonneau and H. Ojeda. 2013. Incidence of minimal pruning on wine quality. *Acta Horticulturae*, 978: 309-316.

Ruffner, H.P. 1982. Metabolism of tartaric and malic acids in *Vitis*: a review – Part B. *Vitis*, 21: 345-358.

Ruhl, E.H. and P.R. Clingeleffer. 1993, January. Effect of minimal pruning and virus inoculation on the carbohydrate and nitrogen accumulation in ‘Cabernet Franc’ vines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(1): 81-85.

Shaulis, N.J.; J. Pollock; D. Crowe and E.S. Shepardson. 1973. Mechanical pruning of grapevines; progress 1968-1972. *Proceedings NY State Horticultural Society*, 118: 61-69.

Sholefield, P.B.; P. May and T.F. Neales. 1977, September. Harvest-pruning and trellising of ‘Sultana’ vines. I. Effect on yield and vegetative growth. *Scientia Horticulturae*, 7(2): 115-122.

Sims, C.A.; R.P. Johnson and R.P. Bates. 1990, January. Effects of mechanical pruning on the yield and quality of ‘Muscadine’ grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 41(4): 273-276.

Santibañez, F.; F. Diaz; C. Gaete; S. Daneri y D. Daneri. 1989. Agroclimatología y zonificación de la región vitivinícola chilena: bases para la denominación de origen de los vinos. (Bol. Téc. N°48), Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile: Universitaria. 26p.

Schwab, A.L. 2005. Differentiation of winegrape maturity and must contents of early and late ripening white grapevine varieties under minimal pruning conditions. (pp. 1-7). In: Proceedings of XIV International GESCO Viticulture Congress (23 to 27 August 2005). Geisenheim, Germany. 875 pp.

Studer, H.; G. Di Collalto and H.P. Olmo. 1980. Observations on the agronomic effects of hedge pruning on grapevines trained as horizontal cordons in California. *Rivista di Viticoltura e di Enologia*, 33(9): 459-465.

Tassie, E. and B.M. Freeman. 1992. Pruning. (pp. 66-84). En: Coombe, B.G. y Dry, P.R. (Eds.). *Viticulture: Volume 2 Practices*. Adelaide, Australia: Winetitles. 376p.

Tomasi, D.; F. Gaiotti; L. Sansone; L. Lovat; P. Marcuzzo and N. Belfiore. 2013. Mechanical pruning, no pruning and manual pruning: effects on grape composition and health status of ‘Pinot Gris’ and ‘Cabernet Sauvignon’ cultivars in the “Piave” AOC area of Veneto region. *Acta Horticulturae*, 978: 317-326.

Walker, R.R.; D.H. Blackmore; P.R. Clingeleffer; G.H. Kerridge; E.H. Ruhl and P.R. Nicholas. 2005, April. Shiraz berry size in relation to seed number and implications for juice and wine composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(1): 2-8.

Wilson, G.B. 1983, January. Five years of machine pruning: a grower's experience. *American Journal of Enology and Viticulture*, 31(1): 40-41.

Winkler, A. J.; J.A. Cook; W.M. Kliewer and L.A. Lider. 1974. General viticulture. USA, California, Berkeley and Los Angeles: University of California Press. 710p.

Winkler, A.J. 1958, January. The relation of the leaf area and climate to vine performance and grape quality. *American Journal of Enology and Viticulture*. 9(1): 10-23.

Zabadal, T.J.; G.R. Vanev; T.W. Dittmer and R.L. Ledebuhr. 2002, January. Evaluation strategies for pruning and crop control of 'Concord' grapevines in southwest Michigan. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(3): 204-209.