

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA AMINOETOXIVINILGLICINA, EL 3-5-6 TPA Y EL ANA EN
LA CAÍDA Y MADUREZ PRECOSECHA DE MANZANA
CV. CRIPPS PINK**

por

**Marcia GARCÍA DE CABRERA
Elisa Blanca PARDO BENTANCOURT**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2024**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. PhD. Vivian Severino

Ing. Agr. PhD. Mercedes Arias

Ing. Agr. PhD. Gerardo Echeverría

Fecha:

23/08/2024

Autores:

Marcia García

Elisa Blanca Pardo

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias siempre, por el apoyo incondicional y el aliento en este largo proceso de persistencia y superación.

Al equipo de ecofisiología de los frutales de hojas caducas. En especial a Vivian Severino, por su impulso y fuerza, por darnos el espacio y por sus aportes. A Mercedes Arias, por sus aportes, consejos y aliento. A Sebastián Galiger por su colaboración en las tareas de campo.

A Cecilia Fornero, por su ser, por siempre estar en el trabajo de campo y por su apoyo amoroso.

A Gerardo Echeverría, por la confianza y el apoyo total.

A Alejandra Borges, por su disposición y aportes en la estadística.

A Julio Yaquina, por permitirnos realizar el ensayo en su establecimiento. A Roger, encargado de la quinta, por su disposición.

A Alejandro Reyes por el impulso, la confianza y el apoyo enorme de sostener la familia en este intenso proceso.

A Leandro, Ibai y Salvador y por ser parte inherente del camino, nuestra fuerza, luz y guía.

A nuestras amigas y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS	7
RESUMEN.....	9
SUMMARY	10
1 INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 EL CULTIVO DEL MANZANO	13
2.2 GRUPO CRIPPS PINK.....	13
2.3 CAÍDA DE FRUTOS EN EL CICLO PRODUCTIVO DEL MANZANO	14
2.4 ABSCISIÓN.....	14
2.5 MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA DE LA ZONA DE ABSCISIÓN	16
2.6 PROCESO DE ABSCISIÓN DE LA FRUTA.....	17
2.7 FACTORES DE LA PLANTA ASOCIADOS CON LA ABSCISIÓN PRECOSECHA	18
2.7.1 Susceptibilidad individual de la fruta.....	18
2.7.2 Cultivar.....	19
2.7.3 Tamaño de la fruta.....	19
2.7.4 Ubicación espacial de la fruta	19
2.7.5 Número de semillas	20
2.7.6 Estado de madurez del fruto.....	20
2.8 PROCESO DE MADURACIÓN	21
2.8.1 Maduración del fruto	21

2.8.2	Cambios en las manzanas durante la maduración.....	23
2.8.2.1	Cambios en el sabor.....	23
2.8.2.2	Cambios en la firmeza	23
2.8.2.3	Cambios en el color	23
2.8.3	Índices de madurez.....	24
2.8.3.1	Degradación de almidón.....	24
2.8.3.2	Firmeza de pulpa.....	25
2.8.3.3	Contenido de sólidos solubles	26
2.9	REGULACIÓN HORMONAL ASOCIADA A LA ABSCISIÓN.....	26
2.9.1	Etileno	27
2.9.2	Auxinas.....	29
2.10	REGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU APLICACIÓN PARA REDUCIR LA CAÍDA PRECOSECHA	32
2.10.1	Aminoetoxivinilglicina (AVG).....	33
2.10.2	Ácido naftalenacético (ANA).....	34
2.10.3	Ácido 3,5,6 - tricloro-2-piridil-oxiacético (3-5-6 TPA).....	34
3	MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1	UBICACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL ENSAYO	35
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETAL.....	35
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS.....	35
3.4	VARIABLES DE RESPUESTA.....	36
3.4.1	Caída de fruta	36
3.4.2	Índices de madurez.....	37
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1	CAÍDA DE FRUTOS EN PRECOSECHA Y COSECHA.....	39
4.1.1	Brindillas de 1 fruto en centro floral	39

4.1.2	Brindilla de 2 frutos en centro floral	42
4.1.3	Brindillas con 1 y 2 frutos en centro floral (total).....	45
4.1.4	Brindillas con 1 fruto vs. con 2 frutos en centro floral	47
4.1.5	Calidad interna	49
5	CONCLUSIONES.....	51
6	BIBLIOGRAFÍA.....	52

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

Figura No.

Figura 1 Zona de abscisión ubicada donde el pedicelo del fruto se une al dardo	15
Figura 2 Tasa de respiración y niveles de etileno interno durante el crecimiento de las manzana	22
Figura 3 Carta de degradación de tipo radial.....	25
Figura 4 Pasos de la síntesis del etileno en frutos climatéricos.....	29
Figura 5 Centro floral con 1 fruto, sin competencia por el espacio y previo a cosecha..	37
Figura 6 Centro floral con 2 frutos	37
Figura 7 Número de frutos por tratamiento según días precosecha en centros florales con 1 fruto.....	40
Figura 8 Número de frutos por tratamiento según días precosecha en centros florales con 2 frutos	42
Figura 9 Número de frutos por tratamiento según días precosecha en centros con 1 y 2 frutos	45
Figura 10 % de frutos en centros con 1 fruto vs con 2 frutos según semanas precosecha	48

Cuadro No.

Cuadro 1 Tratamientos que implican uso de reguladores de crecimiento, momento de aplicación y dosis	36
Cuadro 2 Modelos ajustados para número de frutos promedio por tratamiento en centros florales con 1 fruto	40
Cuadro 3 Número de frutos retenidos en centros con 1 fruto y % de caída por fecha...41	41
Cuadro 4 Modelos ajustados para número de frutos promedio por tratamiento en centros florales con 2 frutos	42
Cuadro 5 Número de frutos retenidos en centros con 2 frutos y % de caída por fecha .43	43
Cuadro 6 Modelos ajustados para número de frutos promedio por tratamiento en el total de centros florales.....	46
Cuadro 7 Número de frutos retenidos totales y porcentaje de caída por fecha.....	47
Cuadro 8 % de caída de centros con 1 vs. 2 frutos, según tratamiento y momento.....	48

Cuadro 9 Índice de almidón, firmeza y sólidos solubles 2 semanas precosecha según tratamiento	49
Cuadro 10 Índice de almidón, firmeza y sólidos solubles al inicio de cosecha según tratamiento	50

RESUMEN

La caída de fruta precosecha es un problema presente en el cultivo de manzano Cripps Pink, cultivar que incrementa su superficie anualmente en Uruguay. Una alternativa de manejo para superar dicha problemática es la aplicación de reguladores del crecimiento previo a cosecha. El presente trabajo evalúa el efecto de aminoetoxivinilglicina (AVG), ácido naftalenacético (ANA) y ácido 3,5,6-tricloro-2-piridil-oxiacético (3-5-6 TPA) en la caída de fruta precosecha y en la calidad interna de la manzana. Los tratamientos combinaron dosis y momentos de aplicación de los reguladores de la siguiente forma: AVG a 125 mg/L a las 8 semanas precosecha (SP), AVG a 62 mg/L a las 8 SP, AVG a 62 mg/L a las 5 SP, 3-5-6 TPA a 20 mg/L a las 8 SP, 3-5-6 TPA a 10 mg/L a las 5 SP y ANA a 17 mg/L a las 5 SP. La evaluación de caída de fruta se efectuó en centros florales con 1 fruto y con 2 frutos marcados en el momento de la primera aplicación, con un seguimiento semanal hasta la cosecha. Las evaluaciones de presión de pulpa, sólidos solubles y degradación del almidón se realizaron 2 y 1 SP. Al comparar los tratamientos testigo, se observó una mayor caída de fruta en centros florales con 2 frutos respecto a 1 fruto, 44% y 21% respectivamente. El AVG a 125 mg/L y el 3-5-6 TPA a 20 mg/L aplicados a las 8 SP junto con el AVG a 62 mg/L y el ANA a 17 mg/L aplicados a las 5 SP mostraron efecto en la reducción de la caída de fruta 1 SP y en cosecha en los centros florales con 2 frutos, también en la caída total (centros florales con 1 y con 2 frutos) al momento de la cosecha. No se encontró efecto de los reguladores en los centros florales con 1 fruto. El efecto de las dosis de AVG en la retención de fruta es dependiente del momento de aplicación. Los reguladores de crecimiento no se diferenciaron del testigo en los indicadores de madurez de la fruta al evaluarse 2 y 1 SP. Los tratamientos con AVG 125 mg/L-8 SP y ANA 17 mg/L-5 SP fueron los únicos en presentar un comportamiento lineal en la curva de caída de frutos y no mostrar diferencias de caída al comparar los centros florales con 1 y 2 frutos en ningún momento.

Palabras clave: reguladores de crecimiento, semanas precosecha (SP), indicadores de madurez

SUMMARY

Preharvest fruits drop is a problem present in Cripps Pink apple, a cultivar that increases its area annually in Uruguay. One management alternative to overcome this problem is the application of preharvest growth regulators. The present work evaluates the effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG), naphthaleneacetic acid (ANA) and 3,5,6-trichloro-2-pyridyl-oxyacetic acid (3-5-6 TPA) on preharvest fruit drop and internal quality of apple. The treatments combined doses and times of application of the regulators as follows: AVG at 125 mg/L at 8 weeks preharvest (SP), AVG at 62 mg/L at 8 SP, AVG at 62 mg/L at 5 SP, 3-5-6 TPA at 20 mg/L at 8 SP, 3-5-6 TPA at 10 mg/L at 5 SP, and ANA at 17 mg/L at 5 SP. Fruits drop evaluation was carried out on floral centers with 1 fruit and with 2 fruits marked at the time of the first application, with weekly monitoring until harvest. Pulp pressure, soluble solids and starch degradation were evaluated at 2 and 1 SP. When comparing the control treatments, a greater fruit drop was observed in floral centers with 2 fruits compared to 1 fruit, 44% and 21%, respectively. The AVG at 125 mg/L and 3-5-6 TPA at 20 mg/L applied at 8 SP together with AVG at 62 mg/L and ANA at 17 mg/L applied at 5 SP showed effect on the reduction of fruits drop at 1 SP and at harvest in the floral centers with 2 fruits, also in the total drop (floral centers with 1 and with 2 fruits) at harvest time. No effect of the regulators was found in the 1 fruit flower centers. The effect of AVG doses on fruit retention depends on the time of application. The growth regulators did not differ from the control in the fruit maturity indicators when evaluating 2 and 1 SP. The treatments with AVG 125 mg/L-8 SP and ANA 17 mg/L-5 SP were the only ones to present a linear behavior in the fruit drop curve and did not show differences in drop when comparing the floral centers with 1 and 2 fruits at any time.

Keywords: growth regulators, preharvest weeks (SP), maturity indicators

1 INTRODUCCIÓN

La manzana es una de las frutas más cultivadas a nivel mundial y su producción ha tenido un destacado crecimiento en las últimas décadas, debido al incremento en la demanda del consumo de frutas frescas y a la disponibilidad de nuevos cultivares “club”, que están logrando precios diferenciales sobre los cultivares tradicionales, siendo una de estos cultivares la manzana bicolor Pink Lady® (Toranzo, 2016).

En Uruguay, el manzano es el principal cultivo de hoja caduca, tanto en superficie plantada como en volumen de producción. Con sus 1987 hás productivas representa el 51% de la superficie y el 62% del volumen dentro de los frutales de hoja caduca, según la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2024). Si bien el destino principal de la fruta es el mercado interno, el volumen y el ingreso por exportaciones de manzanas ha tenido una tendencia al alza, entre el 2003 y el 2008, e importantes variaciones en los últimos años, según FAOSTAT, dentro de Estadísticas de la FAO, a través de la selección de datos, en el dominio de comercio de cultivos y productos de ganadería, indicando el valor de las exportaciones de manzanas en Uruguay durante el período comprendido entre el 2000 y el 2021. Es así que se observa a nivel nacional, un incremento de cultivares con capacidad exportadora, como es el caso del cv. Cripps Pink (Pink Lady®), que actualmente se eleva a un 15% de la superficie de las plantaciones de manzanos (DIEA, 2024). En el marco de lo mencionado, los productores deben ser cada vez más competitivos, tanto en términos de rendimientos productivos como de calidad de la fruta, para así lograr mantener el mercado y captar precios que le permitan asegurar la viabilidad económica de su empresa.

La caída de fruta previa a la cosecha ocurre justo antes de que la fruta logre alcanzar un estado de madurez óptimo y/o color, siendo un problema grave para algunos cultivares de manzanas. Según varios autores, la caída de fruta precosecha podría ser reducida significativamente con la aplicación de reguladores del crecimiento de las plantas.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la caída de fruta precosecha en manzanos cv. Cripps Pink y evaluar la aplicación de reguladores de crecimiento para su reducción.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir curvas de caída de fruta.
- Evaluar la respuesta de AVG, 3-5-6 TPA y ANA según momento de aplicación.
- Evaluar la respuesta de AVG, 3-5-6 TPA y ANA según dosis de aplicación.
- Evaluar la respuesta de AVG, 3-5-6 TPA y ANA según centros florales con 1 y 2 frutos.
- Evaluar el efecto de las combinaciones producto*momento*dosis.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL CULTIVO DEL MANZANO

El manzano pertenece a la familia de las Rosáceas, subfamilia Pomoideas, y al género *Malus*, en donde se encuentran árboles y arbustos generalmente de hoja caducifolia. El género comprende alrededor de 15 especies principales, siendo la especie *Malus x domestica* Borkh la que da origen a las variedades de manzanos cultivadas comercialmente (Westwood, 1982).

El manzano tiene dos tipos de crecimientos: vegetativo puro y mixto. El crecimiento mixto presenta una yema floral que a su vez contiene varias yemas vegetativas en su base. La yema floral genera una inflorescencia que normalmente tiene cinco flores. Este tipo de crecimiento se encuentra en brotes terminales del año y de dos años y, hasta cierto punto, en las yemas laterales de los brotes de un año. En términos reproductivos, la mayoría de las variedades de manzana presentan autoincompatibilidad, por lo cual se hace necesaria la presencia de un polinizante (Goldway et al., 2007).

El fruto es un pomo, de forma esférica achatada y troncocónica, de color variable, motivo por el cual se clasifican los cultivares y dentro de ellos por su precocidad y características de coloración (intensidad y tipo de color: liso o estriado). Es así que hay cultivares de epidermis amarilla, roja, verde, bronceadas y bicolors (Agustí, 2004), a este último grupo de manzanas es al que pertenece el cultivar Cripps Pink.

2.2 GRUPO CRIPPS PINK

Cripps Pink lleva el nombre de su creador, John Cripps, y fue seleccionada en 1979 en Australia Occidental. Proviene del cruzamiento entre Lady Williams y Golden Delicious, buscando combinar la firmeza, potencial de almacenaje y baja susceptibilidad al bitter pit de la primera, con la buena calidad organoléptica y baja incidencia al escaldado de la segunda (Cripps et al., 1993).

Los árboles son vigorosos, presentando un crecimiento denso de brotes. En su lugar de origen, la floración es al mismo tiempo que "Granny Smith", "Gala", "Fuji" y "Red Delicious", por lo que son buenos polinizadores (Cripps et al., 1993).

Es clasificado como un cultivar de recolección tardía, cosechándose desde mediados de abril a mayo en Uruguay (Cabrera et al., 2002). En cuanto al frío, requiere 650 horas de frío (Candan et al., 2006).

Los frutos son de tamaño medio a grande (70-75 mm de diámetro) y forma cónica-oblonga, de un característico color rosado brillante sobre fondo verde intenso, que vira a amarillo en madurez, con pulpa blanca, crocante y jugosa (Calvo et al., 2008). El pedúnculo es mediano, con tendencia a corto, rígido y poco visible (Benítez, 2001; Van der Westhuizen, 2020). La cavidad calicinal es profunda y angosta; su epidermis, delgada y lisa, tornándose a cerosa con el avance de la madurez (Cripps et al., 1993). El desarrollo de sobrecolor en manzanas bicolors es requerido para satisfacer los estándares de

exportación, y este es el resultado de la presencia de pigmentos antociánicos. Según Marais et al. (2001), las manzanas Cripps Pink deben estar cerca de la madurez comercial antes de que ocurra la síntesis de antocianinas.

La madurez a cosecha es clave si el objetivo es la conservación o la exportación a mercados distantes. Según Calvo et al. (2008), la degradación del almidón, la firmeza de pulpa, el color de fondo y el sobrecolor son los índices de cosecha más relevantes para esta fruta, dada la exigencia de los mercados por fruta crocante, de color de fondo verde y con sobrecolor en más del 50% de la superficie.

Por lo general, cuando se alcanzan los parámetros de madurez mínimos recomendados para el inicio de cosecha, el sobrecolor (tanto porcentaje como intensidad) no alcanza los niveles óptimos, por lo que la cosecha comercial de este cultivar es generalmente retrasada (Calvo et al., 2008).

2.3 CAÍDA DE FRUTOS EN EL CICLO PRODUCTIVO DEL MANZANO

Durante el desarrollo de las plantas, hay abscisión de distintos órganos debido a una secuencia de procesos bioquímicos y celulares que están coordinados y regulados (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La abscisión se puede encontrar asociada a órganos en situación de estrés, por ejemplo por sequía, salinidad, temperaturas extremas, baja irradiación, ataque de patógenos, deficiencia de nutrientes, entre otros; también a órganos en senescencia, como ocurre en la caída de hojas, flores y frutos luego de la maduración (Addicott, 1982, como se cita en Estornell et al., 2013), así como a órganos sin el proceso de senescencia mediante, como ocurre en muchas estructuras florales y de frutos que caen sin madurar (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

Dentro del ciclo productivo del manzano, se pueden distinguir dos momentos diferenciados de caída de fruta (Arseneault & Cline, 2016). El primer período ocurre inmediatamente después de la caída de pétalos y se extiende durante 5 - 6 semanas (“caída de junio”), durante la fase de división celular de los frutos (Dal Cin et al., 2009; McCown, 1943), el segundo período tiene lugar aproximadamente 4 semanas antes de la cosecha, cuando los frutos se encuentran en la fase de maduración, antes de alcanzar la madurez organoléptica (Arseneault & Cline, 2016).

El proceso de abscisión del fruto de manzana y la manera en que el mismo es regulado, es diferente según el momento en que se produce (Sexton & Roberts, 1982). Así mismo, la severidad de la caída es intrínseca a los cultivares, habiendo cultivares más y menos propensos a la abscisión (Li et al., 2010; McCown, 1943).

2.4 ABSCISIÓN

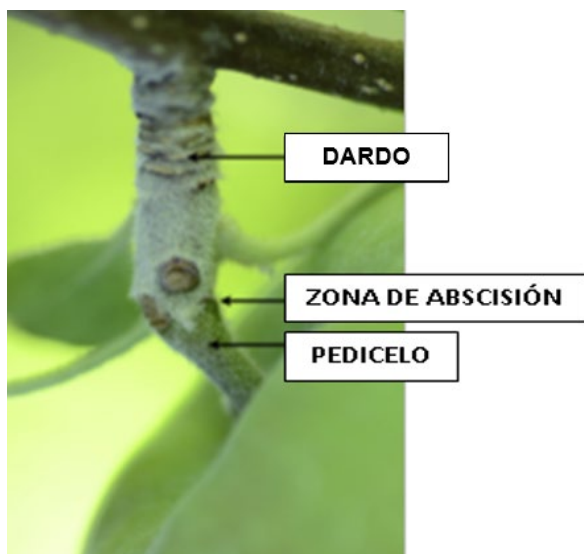
La abscisión se produce generalmente en la base del órgano que va a caer a la planta, como es el caso del pedúnculo de los frutos y el pecíolo de las hojas (Azcón-Bieto & Talón, 2008). En lo que se denomina “zona de abscisión” (ZA), caracterizada por ser

un tejido discreto y especializado (Addicott, 1982, como se cita en Ward, 2004; Bar-Dror et al., 2011), sin embargo, hay excepciones a esta ubicación, como las ZA localizadas en el extremo proximal o distal dentro del pedúnculo (Mao et al., 2000).

En el caso de la manzana que cae prematuramente antes de la cosecha, la fruta se separa en la ZA localizada en la unión pedicelo-dardo (MacDaniel, 1936, como se cita en Ward, 2004). La ZA se forma en una zona de constricción o en el pedicelo distal a la zona de constricción (McCown, 1943).

Figura 1

Zona de abscisión ubicada donde el pedicelo del fruto se une al dardo



Nota. Tomado de Arseneault y Cline (2016).

La ZA se diferencia muy temprano y simultáneamente con el desarrollo de órganos laterales formados a partir del meristema apical del brote (Osborne, 1989; Taylor & Whitelaw, 2001). Este tipo de ZA se denomina ZA primaria, en oposición a las denominadas ZA adventicias o secundarias que se forman después del desarrollo de los órganos laterales (Addicott, 1982, como se cita en Estornell et al., 2013). Según McManus et al. (1998), la abscisión primaria y secundaria son esencialmente lo mismo en términos de los procesos que culminan en la separación celular, sin embargo, difieren en que las zonas primarias se producen en sitios particulares de células diferenciadas posicionalmente, mientras que las zonas secundarias tienen la capacidad de formarse en casi cualquier punto a lo largo de la región del tejido del pecíolo, desconociéndose qué controla su formación. Esto plantea el conflicto entre la idea de la predeterminación de las células de la ZA y la noción de que cualquier célula podría desdiferenciarse para ser una célula de la ZA en respuesta a señales apropiadas (Taylor & Whitelaw, 2001). Según Ward (2004), un órgano dado puede tener varias ZA asociadas con él, reguladas independientemente, lo que sugiere que la planta puede acceder a estas diferentes ZA en respuesta a diferentes estímulos.

Si bien la ZA se diferencia pronto, la separación del órgano queda en suspenso hasta que una secuencia de desarrollo o una señal ambiental desencadene el proceso (Estornell et al., 2013; Osborne, 1989).

Los procesos fisiológicos que conducen a la separación celular en la abscisión temprana de la fruta, “caída de junio”, tienen lugar en una región muy restringida dentro de la ZA, denominada “capa de separación”, sin embargo, la capa de separación no se diferencia en pedicelos de frutas que permanecen en los árboles después de que se completa la “caída de junio” (McCown, 1943).

En el caso de la abscisión temprana de la fruta, la separación de los pedicelos del dardo está precedida por la división celular y la consiguiente diferenciación de la capa de separación (McCown, 1943). Sin embargo, en la caída antes de la cosecha, los pedicelos no presentan división celular ni diferenciación de una capa de abscisión secundaria. La separación de la fruta se produce a lo largo de un plano de fractura donde las paredes de las células preexistentes se desintegran sin división o diferenciación anterior (Estornell et al., 2013; McCown, 1943). Además, la regulación endógena es diferente entre la abscisión temprana y tardía, explicando el comportamiento diferencial de la aplicación de auxinas de síntesis en ambos estadios de desarrollo del fruto (Ward, 2004).

2.5 MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA DE LA ZONA DE ABCISIÓN

En muchas especies, las células de la ZA se distinguen tanto morfológicamente como anatómica y fisiológicamente de sus células vecinas (Bar-Dror et al., 2011; Estornell et al., 2013), aunque también su apariencia, puede ser similar a la del parénquima cortical circundante (Osborne, 1989; Ward, 2004).

La ZA generalmente está formada por células parenquimáticas de menor tamaño, citoplasmáticamente más densas, con presencia de depósitos de almidón, mayor cantidad de dictiosomas, forma isodiamétrica e interconectadas mediante abundantes plasmodesmos ramificados (Bar-Dror et al., 2011; Ward, 2004). Es también característico de esta zona la ausencia de esclereidas y de fibras en torno al cilindro vascular (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La ZA del pedicelo del fruto de manzana, además, presenta menos elementos de vasos xilemáticos y tienen puntuaciones escalariformes en lugar de las redondas normales (Ward, 2004). Según Sexton y Roberts (1982), es posible que la zona no se debilite, porque el papel estructural de los tejidos lignificados es compensado con un mayor desarrollo de colénquima, siendo este último, accesible a la hidrólisis enzimática, a diferencia de la lignina que es resistente, y por lo tanto, inhibiría la separación celular.

Según Taylor y Whitelaw (2001), el número de células que componen una ZA es fijo para un órgano en particular en una especie, pero varía entre especies. El número de capas de células de la ZA es altamente variable, pudiendo presentar entre 1 a 50 capas o estratos celulares según la planta (Arseneault & Cline, 2016; Leslie et al., 2007).

La separación celular no ocurre en toda la ZA, sino en una capa de separación o plano de fractura (Sexton & Roberts, 1982). El plano de fractura en el pedicelo de las manzanas, está constituido por una capa de entre 1 y 8 células vivas a través de la región de la médula. Los bordes de la ZA son indefinidos, pero la región suele ser de aproximadamente 0,5 mm de tejido entre la base del racimo y el pedicelo. La capa de separación no está diferenciada y no se puede distinguir del resto de la ZA en los pedicelos maduros (Ward, 2004), es decir, en los pedicelos de la manzana que permaneció unida al árbol después de culminada la “caída de junio” (McCown, 1943). Parece que, las células de la ZA, perdieron la capacidad de agrandarse y vacuolizarse como parte del proceso de crecimiento normal, aunque aumentan de tamaño durante la abscisión. Esto contrasta con las células que rodean directamente la zona (Taylor & Whitelaw, 2001).

Las células que comprenden una capa de separación se denominan células diana de la ZA. Las células diana tipo I se expanden longitudinalmente en respuesta a las auxinas y lateralmente en respuesta a la aplicación de etileno; las células diana tipo II aumentan de tamaño en respuesta al etileno, pero no a las auxinas, y las células de tipo III se expanden en respuesta a ambas hormonas. La ZA de las plantas vasculares está formada por células diana de tipo II (Osborne & Sargent, 1976), en donde los efectos opuestos de estas dos hormonas proporcionan un mecanismo regulador para el control del tamaño y la forma de las células mediante el equilibrio de auxina y etileno (Taylor & Whitelaw, 2001).

2.6 PROCESO DE ABSCISIÓN DE LA FRUTA

Según estudios anatómicos, fisiológicos, genéticos y moleculares, el proceso de abscisión incluye cuatro eventos sucesivos principales (Estornell et al., 2013; Jarvis et al., 2003; Patterson, 2001; Roberts et al., 2000; Taylor & Whitelaw, 2001):

- 1- *diferenciación* temprana de las células localizadas en el futuro sitio de separación de la ZA de un órgano determinado.
- 2- *activación* de la ZA, en donde adquiere la capacidad para responder a las señales de abscisión.
- 3- *separación celular* dentro de la ZA para permitir el desprendimiento del órgano a escindir de la planta madre.
- 4- *cicatrización*, en donde se produce la diferenciación de una capa protectora en la superficie del tejido expuesto en el cuerpo de la planta. Es la última fase y se superpone con la etapa tres.

De todas estas etapas, es el proceso de separación celular del que se dispone mayor información, por ser el más fácil de observar y de estudiar en la fase de desarrollo, mientras que se conoce menos de las fases restantes (Arseneault & Cline, 2016).

La separación celular se puede considerar, en términos generales, como el proceso mediante el cual se destruye la adhesión entre las células (Jarvis et al., 2003) y se produce la degradación de las paredes celulares (Estornell et al., 2013). Las paredes de las células

vecinas, se unen por medio de una capa delgada, llamada lámina media, que se diferencia del resto de la pared por presentar un alto contenido de pectina y un complemento de proteínas diferente (Knox, 1992). El proceso de separación celular, que es mediado por etileno, implica una inducción importante de enzimas hidrolíticas y modificadoras de la pared celular, causando la degradación de la lámina media entre las células de la ZA para permitir la separación física del órgano de la planta (Bar-Dror et al., 2011).

Según McCown (1943), tanto las paredes de las células pétreas de la médula como las paredes gruesas de las pequeñas células parenquimatosas que caracterizan la ZA son principalmente de celulosa. La abscisión precosecha de la manzana es precedida por el embebido y alargamiento de varias capas de células dentro del ZA (McCown, 1943; Sexton & Roberts, 1982). Tanto las paredes celulares de las células pétreas como el parénquima localizado en unos pocos niveles de células del área medular se hinchan y extienden, perdiendo la calidad anisotrópica, lo que indica un cambio físico en la celulosa. A medida que avanza la abscisión, la pared de celulosa secundaria se desintegra gradualmente (McCown, 1943), al mismo tiempo los compuestos pécticos de la lámina media se disuelven debido a un cambio de formas de insolubles a solubles, lo que provoca la pérdida de la adhesión intercelular (McCown, 1943, Osborne, 1989). Esta pérdida de la adherencia de la pared junto con la presión ejercida por la expansión celular es suficiente para interrumpir los contactos plasmáticos entre las células y romper mecánicamente el tejido vascular, logrando el desprendimiento (Bar-Dror et al., 2011; Osborne, 1989).

En la última etapa, que se superpone con la etapa tres, luego de la separación del pedicelo, se desarrolla una capa protectora mediante la suberización o lignificación de la superficie del tejido expuesto, creando una cicatriz en el sitio de desprendimiento (Bar-Dror et al., 2011; McCown, 1943; Osborne, 1989).

2.7 FACTORES DE LA PLANTA ASOCIADOS CON LA ABSCISIÓN PRECOSECHA

2.7.1 Susceptibilidad individual de la fruta

La caída de la fruta se extiende a lo largo de varios meses durante el final de la temporada de crecimiento (Greene, 2002; Robinson et al., 2010). Esta gran ventana de caída de fruta sugiere que o bien los cambios en el metabolismo se dirigen a frutos específicos por razones desconocidas, que los frutos sean capaces de responder a cambios metabólicos en diferentes momentos, o que cada fruto esté regulado internamente según su propia trayectoria de desarrollo (Arseneault & Cline, 2016). El potencial de abscisión precosecha entre los frutos centrales y los laterales de las inflorescencias del manzano no presentaron diferencias en los trabajos realizados por Ward (2004) y Goffinet et al. (1996).

La diferenciación del tejido vascular en el pedicelo de la fruta se completa después de la floración y esto determina la capacidad vascular de la fruta, aún no está claro si las

diferencias en la capacidad vascular se extienden hasta la época de cosecha y, por lo tanto, alteran el potencial de abscisión de la fruta; además, el período de funcionalidad del xilema de la manzana difiere según el cultivar y entre las frutas individuales. Comúnmente hay una pérdida o reducción en la función del xilema de la manzana a lo largo de la temporada, acercándose a la madurez (Lang & Ryan, 1994), esta puede ocurrir cuando el tejido del xilema se daña por la compresión inducida por el crecimiento, la cual difiere según el cultivar, probablemente debido a sus respectivas dinámicas de crecimiento (Dražeta et al., 2004). En términos de abscisión, una interrupción en los metabolitos suministrados por el xilema como hormonas, nutrientes y proteínas, puede promover la abscisión. La pérdida de la funcionalidad del xilema durante el desarrollo del fruto aún no se ha investigado en relación con la caída precosecha (Bangerth, 2000).

La investigación sobre la caída de la fruta antes de la cosecha de la manzana ha tenido poco en cuenta los efectos de la morfología de cómo las frutas individuales están unidas al árbol. Se cree que los pedicelos cortos y rígidos de algunos cultivares (por ejemplo, "McIntosh" y "York Imperial") aumentan la caída al tocarse una fruta con otra dentro de un racimo, de modo que a medida que crecen, una se empuja contra la otra. Se desconoce si otros aspectos del apego de la fruta afectan la caída (Ward et al., 2001). No está claro qué proporción de la caída de la fruta se debe a causas mecánicas o fisiológicas. Dado que se atribuye cierta caída a los daños mecánicos, es posible que los tratamientos con reguladores de crecimiento no proporcionen un efectivo control de la caída de fruta precosecha (Arseneault & Cline, 2016).

2.7.2 Cultivar

Existen diferencias marcadas en el potencial de caída precosecha de fruta entre los cultivares de manzana (Li et al., 2010), indagar sobre estas diferencias puede ser una aproximación para deducir las diferencias morfológicas, anatómicas, genotípicas y bioquímicas asociadas a la abscisión (Arseneault & Cline, 2016). La variación entre los cultivares es bien conocida, pero incluso los cultivares que tienen una tendencia a la caída de la fruta varían considerablemente de un año a otro (Ward, 2004).

2.7.3 Tamaño de la fruta

El tamaño de fruta del cultivar no necesariamente se correlaciona con el nivel de caída de la fruta precosecha (Greene et al., 2014; Sun et al., 2009). Esto coincide con la observación que la abscisión de los frutos laterales y centrales no es diferente, dado que los frutos laterales son a menudo más pequeños que los frutos centrales (Goffinet et al., 1996).

2.7.4 Ubicación espacial de la fruta

Resultados de la investigación efectuada por Ward (2004), muestran que las características espaciales de la unión de la fruta al árbol no están relacionadas con el

tiempo de caída de la fruta individual, así como tampoco, entre el inicio de la caída de la fruta y la orientación del fruto en la copa del árbol, ya sea norte, sur, este u oeste. Este ensayo lo realizó en tres cultivares ('Smoothie Golden Delicious', 'Red Chief Delicious' y 'Commander York').

2.7.5 Número de semillas

El número de semillas se identificó como asociado con la caída. La fruta con un bajo número de semillas tiende a ser más propensa a la caída que aquella con mayor cantidad de semillas. Aunque, si bien puede ser un factor que influye en la caída de frutos, no es de mayor importancia, atribuyéndose una baja proporción de la caída a este factor (Greene et al., 2014; Ward et al., 2001).

Las semillas parecen desempeñar un papel hormonal importante durante la abscisión de los frutos (Eccher et al., 2015; Ferrero et al., 2015), que pueden compartir similitudes con la caída de fruta precosecha (Arseneault & Cline, 2016). Dado que la concentración de auxina libre (AIA) en las semillas de manzana aumenta a lo largo del desarrollo de la fruta y disminuye durante la maduración, la fase de disminución puede ser determinante en la caída precosecha (Devoghalaere et al., 2012). El desarrollo del cigoto se completa antes del desarrollo total de la fruta, por lo que el crecimiento de los tejidos de la fruta puede estar implicado en los cambios metabólicos que afectan la abscisión. Por lo tanto, en lugar de la cantidad de semillas en la fruta, la abscisión de la fruta precosecha puede depender de los cambios en el metabolismo durante el desarrollo de la semilla o del crecimiento de los tejidos de la fruta. La fruta rara vez madura uniformemente en el árbol, debido a diferencias menores en la floración, fertilización y la distribución espacial dentro del dosel, lo que hace que la fruta de ciertos cultivares deba recolectarse durante varios días o semanas para lograr una madurez uniforme de la fruta comercializable (Brookfield et al., 1993).

2.7.6 Estado de madurez del fruto

La degradación del almidón de la fruta, que está relacionada con la madurez, puede estar asociada con la susceptibilidad de una fruta individual a la abscisión. Una investigación realizada por Poapst et al. (1959) en manzanos 'McIntosh', demostró que la fruta susceptible a la abscisión precosecha estaba más avanzada en madurez, con una mayor degradación del almidón, en comparación con la fruta que permaneció en el árbol; sin embargo, este estudio se basó en muestras tomadas de un solo árbol. Más recientemente, Greene et al. (2014) demostraron un mayor apoyo a la relación entre el índice de almidón y la abscisión de fruta precosecha en un estudio sobre los cultivares 'McIntosh' y 'Delicious', donde observaron una mayor degradación del almidón en la fruta caída que en la fruta adherida al árbol. En este estudio no se informaron los índices de almidón, y la diferencia de este índice entre los frutos caídos y los frutos retenidos en el árbol también se puede atribuir a los cambios que ocurren después de la caída o después de que el proceso de abscisión ya ha comenzado, debido a que evaluaban fruta caída y

fruta cosechada del árbol. Por lo tanto, esta asociación debe aclararse aún más para identificar si el índice de almidón bajo es un requisito previo o una consecuencia de la abscisión (Arseneault & Cline, 2016).

2.8 PROCESO DE MADURACIÓN

2.8.1 Maduración del fruto

La maduración se define como el conjunto de cambios externos, de sabor y de textura que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento (Agustí, 2004). Esta fase de su desarrollo incluye procesos como la coloración del pericarpo (Faragher, 1983), el descenso en el contenido de almidón (Brookfield et al., 1997; Hulme, 1958), el incremento de la concentración de azúcares (Berüter, 1985; Hulme, 1958), la reducción de la concentración de ácidos (Hulme, 1958) y la pérdida de firmeza, junto a otros cambios físicos y químicos. Superada esta fase, el fruto pierde turgencia, se reduce la capacidad de soportar estrés físico y fisiológico, aumentando su sensibilidad a las condiciones del medio e inicia su senescencia (Agustí, 2004; Westwood, 1982).

2.8.1.1 Estados de madurez

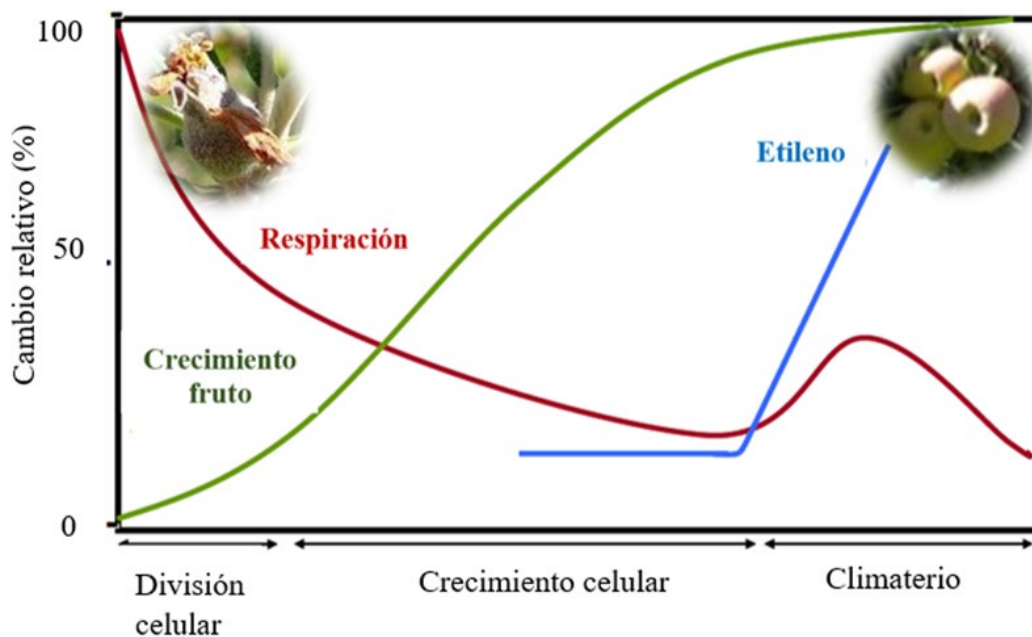
Para las manzanas, la madurez fisiológica ocurre cuando las semillas están maduras (Watada et al., 1984), esto predispone al desarrollo de propiedades de color, textura, aroma y sabor, que se desarrollan en la madurez organoléptica o de consumo. Entre la madurez fisiológica y la organoléptica, se encuentra la madurez comercial o de cosecha, que se consigue cuando el fruto, habiendo alcanzado su madurez fisiológica, se puede separar de la planta madre y, según la especie, ya tener los atributos para su consumo o continuar su evolución hasta adquirirlos (Campana, 2007). Es importante saber el fin o destino de la fruta a cosechar, ya sea para consumo en fresco, conservación o guarda prolongada, para así establecer criterios adecuados de madurez a recolección (Westwood, 1982).

2.8.1.2 Tipo de maduración

La manzana, acumula almidón durante su crecimiento y en la maduración lo hidroliza a monosacáridos, esto demanda una gran cantidad de energía, ocasionando un aumento de la respiración, con alta producción de CO₂ (Brookfield et al., 1997; Hulme, 1958). Este aumento en la tasa respiratoria de los frutos climatéricos, está asociada a la producción autocatalítica de etileno, es decir, el aumento de la producción de etileno promovida por el mismo etileno durante la maduración (Giovannoni, 2001; Sozzi, 2007).

Figura 2

Tasa de respiración y niveles de etileno interno durante el crecimiento de las manzana



Nota. Tomado de Moggia y Pereira (2007).

Como se aprecia en la figura 2, durante el crecimiento de la manzana en el árbol, la tasa respiratoria disminuye en la medida que ésta se aproxima a su madurez fisiológica, llegando a un nivel conocido como mínimo preclimaterico, que es coincidente con la máxima acumulación de reservas, para luego incrementarse cerca de la cosecha, dando inicio a la madurez de consumo. En este momento, la síntesis de etileno (que se encuentra baja durante la mayor parte del desarrollo del fruto), aumenta significativamente, induciendo los procesos de ablandamiento, pérdida de acidez y color verde de la piel, incremento en azúcares y desarrollo, que hacen atractiva a la manzana en términos de su consumo (Moggia & Pereira, 2007).

Los frutos climatéricos pueden madurar organolépticamente tanto en el árbol como separados de él, siempre y cuando se los coseche habiendo alcanzado la madurez fisiológica (Sozzi, 2007). Considerando lo anterior, se ha establecido que el momento óptimo de cosecha de manzanas para almacenaje prolongado es cuando el fruto se encuentra en su mínimo preclimaterico. El nivel de etileno de los frutos es fácilmente cuantificable mediante cromatografía gaseosa, pudiéndose determinar tanto concentración interna (ppm), así como tasa de producción o cantidad emitida durante un tiempo determinado ($\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$). Sin embargo, aún persiste el inconveniente del elevado costo del cromatógrafo de gases (Moggia & Pereira, 2007).

2.8.2 Cambios en las manzanas durante la maduración

2.8.2.1 Cambios en el sabor

Tanto los azúcares como los ácidos orgánicos constituyen la mayor contribución al sabor (Sozzi, 2007) y estos se van transformando durante la maduración. El almidón se hidroliza a glucosa y fructosa, recibiendo el nombre genérico de sólidos solubles. A su vez, la concentración de ácidos, principalmente ácido málico en la manzana, desciende a medida que avanza la maduración, debido a su metabolismo en el proceso de la respiración como a su dilución provocada por la acumulación de agua (Agustí, 2004).

2.8.2.2 Cambios en la firmeza

El reblandecimiento progresivo de los frutos durante la maduración es consecuencia de la solubilización y despolimerización gradual de las pectinas de la lámina media (responsables de la cementación entre células), de la hemicelulosa de la pared celular, y por la pérdida de azúcares neutros, principalmente galactosa y arabinosa de la pared celular, lo que reduce la cohesión del tejido (Agustí, 2004; Sozzi, 2007). Como se mencionó anteriormente, durante la maduración de los frutos se presenta un incremento en la síntesis de muchas enzimas hidrolíticas de pared celular, como las expansinas, pectinmetilesterasas, poligalacturonasas, endo-1,4- β -glucanasas y varias glicosidasas (Sozzi, 2007).

2.8.2.3 Cambios en el color

El color de las manzanas rojas y bicolors depende de dos procesos que se dan a lo largo del crecimiento y la maduración del fruto, la degradación de clorofilas y la síntesis y acumulación de carotenoides y antocianinas (Lancaster & Dougall, 1992; Westwood, 1982). Estas últimas son un grupo muy diverso de pigmentos localizados en las vacuolas, al igual que los flavonoles, encargadas de otorgar el color rojo (Lancaster & Dougall, 1992).

El desarrollo del sobrecolor rojo está influenciado por varios factores, tanto genéticos, como ambientales (luz y temperatura) y de manejo de la quinta, dentro de esta última, se encuentran las podas, raleo de frutos, fertilización, manejo del suelo (Sozzi, 2007) y uso de reguladores de crecimiento, ya que el etileno regula el desarrollo y la acumulación de antocianina en la piel (Blankenship & Unrath, 1988; Faragher & Brohier, 1984). El color de fondo es independiente de esos factores y resulta un mejor indicador del estado de madurez, a diferencia del color rojo superpuesto que no es útil para determinar la madurez de cosecha, sin embargo, es un componente de calidad muy importante para el consumidor (Sozzi, 2007).

2.8.3 Índices de madurez

Las características fisiológicas, físicas y químicas que cambian con la maduración del fruto son valiosas como indicadores de cosecha. Muchas de ellas se utilizan como índices de madurez para iniciar la cosecha (Campana, 2007).

Algunos de los índices de mayor uso para la evaluación de la madurez en los frutos de manzana, según Campana (2007), son:

- Físicos: color de piel, firmeza de la pulpa
- Químicos: degradación del almidón (índice de almidón), contenido de sólidos solubles totales (índice refractrométrico).
- Biológicos: producción de etileno, tasa respiratoria
- Climático-fenológico: intervalo desde plena floración a madurez comercial.

Según Calvo et al. (2008), la madurez a cosecha de Cripps pink es clave cuando el objetivo es la exportación a mercados distantes o guarda prolongada, aunque establecer el momento óptimo para la recolección no es fácil. Por su buena asociación con el etileno interno, la degradación del almidón constituye uno de los índices más satisfactorios. También debe considerarse la firmeza de pulpa y el color de fondo, dada la preferencia de los consumidores por fruta crocante y de color de fondo verde-amarillo.

A continuación, se describirán los indicadores de madurez utilizados en este ensayo.

2.8.3.1 Degradación de almidón

El almidón se acumula en los frutos durante su crecimiento y se hidroliza progresivamente a azúcares solubles en el período de la maduración. Su degradación se inicia en el centro del fruto y avanza en forma centrífuga hacia la periferia. El nivel de hidrólisis del almidón se correlaciona en gran medida con el estado de avance del proceso de maduración. En la manzana, el almidón no se ha convertido totalmente en azúcares solubles al momento de la cosecha (Campana, 2007).

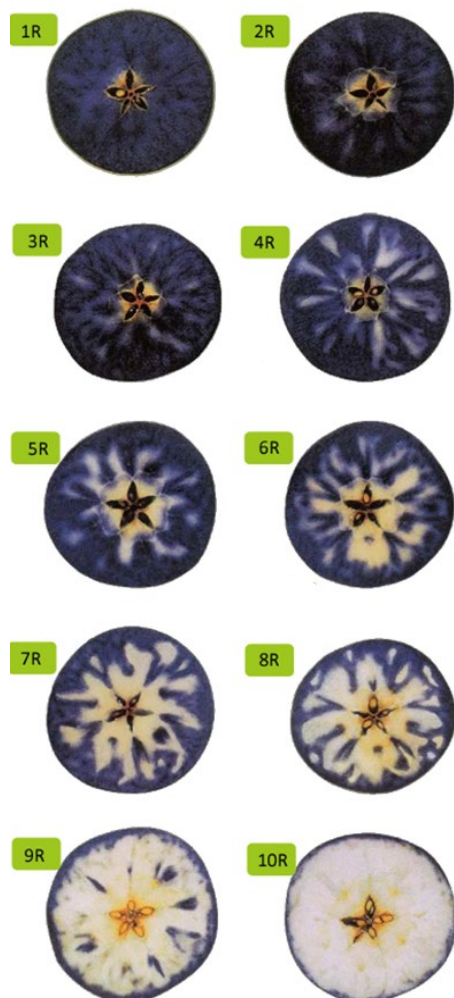
La presencia de almidón y su hidrólisis pueden detectarse mediante la tinción con una solución de yodo y de yoduro de potasio al exponer la pulpa del fruto, cortado transversalmente por la zona ecuatorial (Feippe, 1993). El área incolora, en la que el almidón ha sido degradado, se expande, y el área coloreada se retrae hacia la periferia del fruto a medida que éste madura, hasta desaparecer por completo (Campana, 2007).

La figura que se obtiene en esta reacción de color se compara con una carta de degradación específica para cada cultivar. En manzanas se pueden encontrar dos tipos de degradación, según la forma en que el almidón desaparece de la pulpa del fruto, siendo la de Cripps Pink de tipo radial, es decir, que la zona incolora presenta forma estrellada, con radios amplios que avanzan hacia la periferia (Campana, 2007), como se muestra en la figura 3.

Todo lo que enriquezca al fruto en almidón o ralentice su hidrólisis simulará una inmadurez que no es tal, entre estos factores se cuenta la alta relación hoja/fruto, la buena exposición del fruto a la luz, las temperaturas altas, la baja carga frutal, etc. Por eso es importante analizar los resultados en combinación con otros parámetros de madurez de cosecha (Campana, 2007).

Figura 3

Carta de degradación de tipo radial



Nota. Tomado de Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes [CTIFL] (2002).

Según Moggia y Pereira (2003) y Fresno et al. (2014), la cosecha para exportación a distancia o guarda prolongada debería realizarse con un índice de 3,5 (escala CTIFL).

2.8.3.2 Firmeza de pulpa

La firmeza es influenciada por un conjunto de factores: la especie y el cultivar, el tamaño, siendo los frutos grandes menos firmes que los frutos pequeños; el estado hídrico, resultando más firmes los frutos deshidratados que aquellos en condiciones hídricas

óptimas; temperatura al momento de la determinación, ya que los frutos fríos presentan una mayor firmeza, entre otros (Campana, 2007).

Según Moggia y Pereira (2003), para que Cripps Pink sea categorizada como Pink Lady, la firmeza de pulpa óptima al momento de la cosecha para exportación a distancia o guarda prolongada, debe encontrarse entre 20 - 17 lb. Según Benítez (2001), en la región Argentina de la Patagonia norte, la cosecha se efectúa cuando la firmeza de la pulpa se encuentra entre 16,5 a 18 lb.

2.8.3.3 Contenido de sólidos solubles

Los sólidos solubles totales, incluyen hidratos de carbono, ácidos orgánicos, proteínas, grasas y varios minerales. En las frutas, los azúcares son los principales componentes de los sólidos solubles totales (Sozzi, 2007). El contenido de sólidos solubles tiende a incrementarse por hidrólisis del almidón durante la maduración, en donde se produce la acumulación de glucosa, fructosa y en menor medida sacarosa (Agustí, 2004).

Los sólidos solubles se determinan por refractometría y se expresan en °Brix (Agustí, 2004). No deberían ser menores a 13 °Brix por su impacto en el sabor, criterio para cosecha a mercados distantes (Benítez, 2001; Calvo et al., 2008; Moggia & Pereira, 2003).

2.9 REGULACIÓN HORMONAL ASOCIADA A LA ABSCISIÓN

El proceso general de abscisión está regulado por muchas señales de desarrollo y ambientales. Entre ellas, son de gran importancia los efectos reguladores de las hormonas vegetales (Estornell et al., 2013).

En general, las hormonas vegetales asociadas con la promoción de la abscisión son el etileno y el ácido abscísico (Addicott, 1982, como se cita en Estornell et al., 2013; Arseneault & Cline, 2016), mientras que las auxinas y las giberelinas actúan como señales de inhibición de la abscisión (Parra-Lobato & Gomez-Jimenez, 2011; Taylor & Whitelaw, 2001).

La elevación autocatalítica de la producción de etileno durante la maduración puede ocurrir antes o después de la caída de la fruta, por lo que la fase climatérica no parece ser un requisito previo para la abscisión (Sun et al., 2009). Sin embargo, el etileno exógeno aplicado a los árboles como un aerosol foliar antes de la cosecha puede aumentar notablemente la abscisión de los frutos (Robinson et al., 2010; Sun et al., 2009).

El papel específico del etileno en la abscisión aún está por identificarse, ya que los eventos de abscisión precosecha y maduración ocurren simultáneamente en el tiempo. Aun así, hay evidencia molecular de que después del inicio de la abscisión el proceso es acelerado por el etileno (Arseneault & Cline, 2016). Según Harada et al. (2000), la

susceptibilidad de los cultivos a la caída de fruta precosecha se asocia con la transcripción del precursor de la producción de etileno, ACC sintasa.

La influencia de las hormonas, depende de una interacción compleja de sus concentraciones y localización, así como de la sensibilidad o capacidad de respuesta del tejido vegetal (Davies, 2010a), en este sentido, la ZA adquiere competencia para responder al etileno (Binder & Patterson, 2009; Bleecker & Patterson, 1997; Taylor & Whitelaw, 2001). No sólo las señales hormonales cambian durante el desarrollo, sino que también hay cambios en la percepción de estas señales por parte de las células diana, estas son insensibles hasta cierto período de desarrollo y luego presentan respuesta (Osborne & McManus, 2005).

El etileno y las auxinas son las hormonas vegetales identificadas como las más importantes para regular la abscisión (Taylor & Whitelaw, 2001; Ward, 2004). La teoría prevaleciente, es que el declive de las auxinas y el aumento del etileno son signos claves en la abscisión (Bangerth, 2000). Las auxinas retrasarían la abscisión reduciendo la sensibilidad de los tejidos al etileno, lo que aumenta la cantidad de etileno requerido para una respuesta (Estornell et al., 2013; Taylor & Whitelaw, 2001), esto significa, que las concentraciones de auxinas deben reducirse en la ZA para hacerla sensible al etileno y así promover su abscisión (Sexton & Roberts, 1982; Sexton et al., 1985). La velocidad y el grado de abscisión dependen del equilibrio endógeno entre los niveles de auxinas y etileno en el tejido (Roberts et al., 2002; Taylor & Whitelaw, 2001). La interacción del etileno y las auxinas es más apropiada considerarla en términos de gradientes en lugar de concentraciones absolutas en tejidos vegetales (Arseneault & Cline, 2016). Tanto la disminución de la producción de auxinas por un órgano como la disminución de su transporte puede servir como una señal para la abscisión (Ward, 2004) y, según Beyer y Morgan (1971), el etileno puede disminuir la capacidad de transporte polar de las auxinas.

La aplicación exógena de auxinas, puede retrasar la abscisión inducida por el etileno al mantener un gradiente de auxinas desde el órgano hasta el cuerpo de la planta (Addicott et al., 1955, como se cita en Ward, 2004).

2.9.1 Etileno

El etileno (C₂H₄) es una olefina simple y pequeña que se encuentra en estado gaseoso, lo que le permite moverse rápidamente por los tejidos por difusión. Su efecto, además, se inicia con cantidades mínimas, a nivel de parte por millón o billón (Yang & Hoffman, 1984). La producción de etileno ocurre en todos los órganos de las plantas, incluyendo raíces, tallos, hojas, brotes, tubérculos, bulbos, flores y semillas, pero la magnitud de su producción varía de un órgano a otro y depende de su estado. Está involucrado en casi todo el crecimiento y procesos de desarrollo, que van desde la germinación de semillas a la senescencia de diversos órganos, y en muchas respuestas al estrés ambiental (Abeles et al., 1992). Desempeña un papel importante como regulador positivo de la abscisión; el tratamiento con etileno aumenta la abscisión de hojas, flores

y frutos, mientras que los tratamientos con inhibidores de su biosíntesis retrasan la abscisión (Brown, 1997; Sexton & Roberts, 1982).

La biosíntesis del etileno, también conocida por el ciclo de la metionina se inicia a partir del aminoácido metionina que se asocia a la adenosina conformando la S-adenosil- L-metionina (AdoMet o SAM). El paso siguiente es la conversión de este intermediario en ácido 1-aminociclopropano-1- carboxílico (ACC), el cual se desdobra en etileno con liberación de CO₂ (Kende, 1993; Yang & Hoffman, 1984). De la conversión de AdoMet a ACC se libera 5 metil-tio-adenosina (MTA), la cual pasando por varias reacciones vuelve a constituir nuevamente metionina, para continuar el ciclo (Miyazaki & Yang, 1987). Las tres reacciones principales están gobernadas por las enzimas AdoMet sintetasa para la síntesis de AdoMet, siendo esta catálisis demandante de ATP, la ACC sintasa para el ACC, y la ACC oxidasa para el etileno, esta última es una reacción aeróbica (Kende, 1993).

La producción de ACC es el paso regulatorio clave de la ruta de biosíntesis del etileno, y su concentración en un tejido puede incrementarse por aquellos factores que aumentan la actividad de la ACC sintasa, por ejemplo, la maduración de otro fruto productor de etileno o la presencia de etileno en el ambiente, diferentes tipos de estrés como daño por frío, heridas en el tejido, condiciones de exceso o déficit hídrico, ataque de patógenos, etc. También puede reducirse la concentración de ACC, ya sea por aplicación de ciertos inhibidores, o por una reacción colateral que forma un compuesto biológicamente inerte, el malonil-ACC (MACC) (Sozzi, 2007).

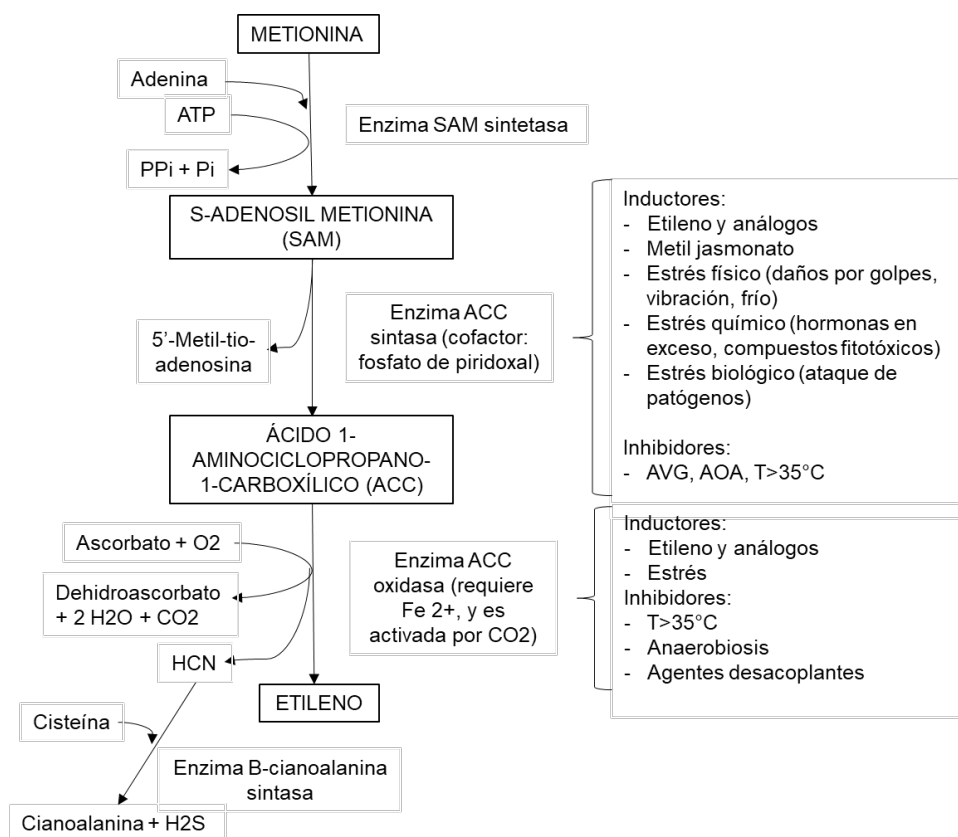
Yang y Hoffman (1984) observaron que la actividad de la ACC sintasa limitaba la síntesis de etileno y se potenciaba por factores que promueven la formación de etileno. Esta enzima se encuentra codificada por una familia multigénica, y su expresión está regulada diferencialmente por varias señales de desarrollo, ambientales y hormonales (Kende, 1993). La ACC sintasa requiere fosfato de piridoxal como cofactor (Boller et al., 1979). La aminoetoxivinilglicina (AVG) y el ácido α -aminooxiacético (AOA) son sustancias que presentan elevada afinidad por el fosfato de piridoxal (Sozzi, 2007), por ello, la aplicación de AVG produce una disminución de la síntesis de etileno (Boller et al., 1979) y un retardo en la maduración (Bramlage et al., 1980).

En el paso final de la síntesis del etileno, el ACC es oxidado por la enzima ACC oxidasa, por lo cual esta reacción depende de la presencia de O₂ (Sozzi, 2007). Al igual que la ACC sintasa, la ACC oxidasa también se encuentra codificada por una familia multigénica (Prescott & John, 1996) probablemente requiriendo, ascorbato, Fe²⁺ y CO₂ como cofactores (Sozzi, 2007; Ververidis & John, 1991) . El nivel de actividad de esta enzima se incrementa fuertemente en frutos climatéricos en maduración (Yang & Hoffman, 1984) y en respuesta a exposición al etileno exógeno (Sozzi, 2007).

El aumento de la respiración proporciona el ATP requerido para el ciclo de la metionina y puede conducir a altas tasas de etileno (Pech et al., 2012).

Figura 4

Pasos de la síntesis del etileno en frutos climatéricos



Nota. Tomado de Sozzi (2007).

Los modos de acción del etileno no se comprenden completamente, pero se han observado varios, entre ellos, el etileno puede inducir un aumento de la síntesis de enzimas hidrolíticas en la ZA (Sexton & Roberts, 1982). Estudios de mutantes de *Arabidopsis* (Estornell et al., 2013) así como de concentración interna de etileno (CIE) en distintas accesiones de *malus* han sugerido que el etileno puede desempeñar un papel subsidiario en determinar el momento de inicio de la abscisión, mientras que puede no ser esencial para su activación (Arseneault & Cline, 2016; Estornell et al., 2013; Sun et al., 2009).

La biosíntesis del etileno en los tejidos puede ocurrir a diferentes velocidades (Van de Poel et al., 2014). En el estudio realizado por Sun et al. (2009), las mediciones de CIE de la fruta pueden haber ocultado cambios que se localizaron en tejidos de la ZA. Esto plantea que la concentración de etileno en la ZA puede ser más relevante para la evaluación de la abscisión (Arseneault & Cline, 2016).

2.9.2 Auxinas

Esta fitohormona presenta la característica de encontrarse distribuida diferencialmente entre células y tejidos; en algunos casos se acumula localmente en una célula o un grupo de células, en otros cambia su distribución entre células, así como

también, puede tener una distribución diferencial en los tejidos vegetales. Este gradiente de concentraciones de auxinas afecta diferentes procesos morfogénicos, por lo que a esta hormona se le ha considerado como un “morfógeno” (Vanneste & Friml, 2009). La distribución diferencial de las auxinas o gradiente depende, principalmente, de su metabolismo y del transporte direccional célula a célula (Normanly, 2010; Tanaka et al., 2006). Este gradiente de auxinas es percibido y procesado de manera diferente en cada tipo celular lo cual permite que se ejecuten variados programas de desarrollo tanto en el tiempo como en el espacio (Finet & Jaillais, 2012).

El ácido indol-3-acético (AIA) es la principal auxina en la mayoría de las plantas (Davies, 2010b; Ljung, 2013; Tanaka et al., 2006). También pueden tener actividad auxínica los compuestos que sirven como precursores del AIA (por ejemplo, el indolacetaldehído). Algunas plantas contienen otros compuestos que muestran una débil actividad auxínica (por ejemplo, el ácido fenilacético). El AIA también puede estar presente como varios conjugados, como el indoleacetyl aspartato (Davies, 2010b). Según Blanusa et al. (2005), el AIA puede influir en varios procesos asociados con el crecimiento y la abscisión de la fruta.

La velocidad de biosíntesis, conjugación, hidrólisis de conjugados y oxidación, así como la intensidad del transporte de llegada y de salida, son factores decisivos en la regulación de la concentración local de las auxinas. A su vez, las auxinas se pueden compartimentar (en diferentes compartimentos celulares, según el pH), influyendo en la efectividad de la concentración auxínica (Azcón Bieto & Talón, 2008).

Las auxinas se sintetizan en todos los tejidos de la planta, siendo los más jóvenes los de mayor actividad (Tanaka et al., 2006), principalmente en los primordios de las hojas y en las hojas jóvenes, así como en las semillas en desarrollo (Davies, 2010b).

Hay dos vías principales de síntesis: una dependiente del aminoácido triptófano y otra independiente de triptófano pero que se deriva de un precursor del mismo (Azcón Bieto & Talón, 2008; Davies, 2010b; Ljung, 2013) La regulación de estas vías sintéticas depende de estímulos externos como son la luz, los nutrientes, la sequía, el frío o las heridas (Woodward & Bartel, 2005) y de factores internos como son otras hormonas (Stepanova et al., 2008).

No se sabe mucho del catabolismo de las auxinas y, hasta el momento, no se han descrito los genes responsables de la degradación del AIA, pero se propone que el catabolismo ocurre a través de la oxidación enzimática (Ljung, 2013) o a través de la descarboxilación oxidativa (Normanly, 2010). La vía de la descarboxilación es importante para procesos de desarrollo como la maduración del fruto (Purgatto et al., 2001) y en la respuesta a estrés oxidativo (Chaoui & El Ferjani, 2005).

Los niveles intracelulares de AIA también se regulan por la conjugación de esta hormona con azúcares, aminoácidos y péptidos y, en algunos casos, la concentración de estos conjugados supera la concentración intracelular de auxinas libres (Normanly, 1997). Estos conjugados pueden funcionar de múltiples maneras: como fuente de almacenamiento, de transporte, de desintoxicación para eliminar el exceso de auxina, de

protección contra degradación por oxidación y en el control de la homeostasis de la hormona (Normanly, 2010; Woodward & Bartel, 2005). Los conjugados se pueden hidrolizar lentamente para producir AIA libre fácilmente difundible y biológicamente activa (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La formación e hidrólisis de estos conjugados está regulada durante el desarrollo y entre los diferentes tejidos de la planta (Finet & Jaillais, 2012; Normanly, 2010) Las formas conjugadas de AIA son generalmente inactivas, aunque se ha demostrado que algunas de estas formas son activas (Normanly, 2010) y otras son irreversibles (Finet & Jaillais, 2012). Los conjugados podrían competir con la hormona libre por sitios en los receptores, en los transportadores y también podrían intervenir en el metabolismo, alterando el nivel de hormona biológicamente activa (Ljung, 2013). El equilibrio entre la biosíntesis de AIA y el metabolismo determina el nivel real de AIA en una célula en cualquier momento (Sembdner et al., 1994).

En cuanto al transporte de las auxinas, existen dos maneras: uno rápido y de larga distancia, que se lleva a cabo por difusión en el floema y transporta a las auxinas de los órganos jóvenes de la parte aérea al resto de la planta, y otro lento y de corta distancia que se da hacia adentro y hacia fuera de la célula y es llevado a cabo tanto por la acción de familias de transportadores de membrana como por difusión. El transporte de larga distancia es importante para todo el desarrollo de la planta y, más específicamente, para el desarrollo de las raíces laterales y la ramificación del tallo, mientras que, el transporte de corta distancia es importante para múltiples procesos de desarrollo como son: la formación del eje embrionario, la respuesta a los tropismos, el desarrollo del tejido vascular, la filotaxia, la dominancia apical y la morfogénesis de la raíz, del fruto y de la flor (Robert & Friml, 2009; Vanneste & Friml, 2009). Este último tipo de transporte (de corta distancia), se conoce como transporte polar o PAT (Robert & Friml, 2009). El PAT requiere de la participación de varias familias de transportadores; estas proteínas están localizadas en las membranas y algunas ingresan mientras que otras sacan a las auxinas de la célula o de algún compartimento intracelular (Robert & Friml, 2009; Vanneste & Friml, 2009). Las auxinas se transportan de forma pasiva a través de la vasculatura y de forma activa a través de transportadores (Zažímalová et al., 2010).

Respecto a los efectos de las auxinas, estas presentan un rol importante en el control de la elongación celular, estimulando el aumento de las células y el crecimiento de los tallos; estimula la división celular en el cambium y la diferenciación del floema y xilema. También estimula la iniciación de las raíces adventicias en los esquejes del tallo y el desarrollo de las raíces de las ramas. Interviene en la respuesta tropística (de flexión) de los brotes y las raíces a la gravedad y la luz; genera dominancia apical, ya que el suministro de auxinas desde la yema apical reprime el crecimiento de las yemas laterales. Retrasa la senectud de la hoja, a su vez pueden inhibir o promover (a través del etileno) la abscisión de la hoja y el fruto, dependiendo del momento y la posición de la fuente. En algunos frutos induce procesos de cuajado y crecimiento del fruto. El movimiento de asimilados es mayor hacia una fuente de auxinas, posiblemente por un efecto en el transporte del floema (Davies, 2010a).

La hipótesis general de que la producción de auxinas es alta en tejidos jóvenes y disminuye con la edad del tejido (Addicott, 1982, como se cita en Arseneault & Cline,

2016) no se aplica a la manzana, en la que las auxinas son inicialmente bajas, aumentan hasta un pico y luego disminuyen. En el caso de las semillas de manzana, la concentración de AIA aumenta a lo largo del desarrollo del fruto y disminuye durante la maduración. En la corteza del fruto, la concentración de AIA es considerablemente más baja respecto a las semillas, presentando su pico durante la expansión celular (Devoghalaere et al., 2012).

Según Blanusa et al. (2005), la pérdida de transporte polar de auxinas no es el único regulador de la abscisión, aunque la retención de la fruta se promueve mediante el transporte funcional de las auxinas.

Las auxinas afectan la abscisión, no solo al regular la sensibilidad al etileno (Meir et al., 2006), sino también regulan a la baja los genes involucrados en la separación celular, incluyendo las enzimas hidrolíticas poligalacturonasa y celulasas asociadas con la degradación de la lámina media y la pared celular en la ZA (Li & Yuan, 2008).

2.10 REGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU APLICACIÓN PARA REDUCIR LA CAÍDA PRECOSECHA

Los reguladores de crecimiento son compuestos orgánicos, distintos de los nutrientes, que en pequeñas cantidades promueven, inhiben o modifican cualquier proceso fisiológico en las plantas. Es así que las hormonas, son reguladores producidos por las plantas, y generalmente se mueven dentro de la planta desde un sitio de producción a un sitio de acción (Van Overbeek, 1959). El descubrimiento de las hormonas vegetales y su capacidad para regular todos los aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas fueron momentos decisivos en la horti-fruticultura (Greene, 2010).

Existe interés comercial en el uso de hormonas exógenas para retrasar la caída de fruta antes de la cosecha en la manzana. Los bioreguladores de las plantas son compuestos fabricados que se aplican comúnmente como aerosoles foliares para alterar el órgano en cuestión (Arseneault & Cline, 2016).

Se ha demostrado que la aspersion de los productos químicos que inhiben la biosíntesis de etileno y la cascada de señales durante la última parte del ciclo de desarrollo de la fruta, reducen de manera eficiente la caída de la fruta antes de la cosecha y retrasan la maduración (Rath et al., 2006; Yuan & Carbaugh, 2007). También se ha utilizado auxina exógena para contrarrestar el efecto del etileno endógeno (Marini et al., 1993; Yuan & Carbaugh, 2007).

Entre los reguladores de crecimiento de tipo auxínico se encuentra el ácido 3,5,6-tricloro-2-piridil-oxiacético (3,5,6-TPA), auxina sintética citada en el control de la caída de la manzana antes de la cosecha, sin afectar negativamente la maduración ni la calidad de la fruta en 'Red Delicious' y 'Jonathan'. Una alternativa de la daminozida y del ácido 2,4,5-tricloro-fenoxipropiónico (2,4,5-TP) que se retiraron hace un tiempo del mercado, quedando el ácido 1-naftalenoacético (ANA) como el único producto químico de origen auxínico registrado para el control de la caída (Stern & Ben-Arie, 2006). El ANA se ha

usado durante mucho tiempo para prevenir la caída de fruta (Dal Cin et al., 2008; Greene & Schupp, 2004; Marini et al., 1993), sin embargo, su uso es algo limitado, ya que ha sido ineficaz o errático en el control de la caída en algunos años (Marini et al., 1993; Robinson et al., 2010; Schupp & Greene, 2004). A sí mismo, bajo determinadas circunstancias, como días cálidos luego de la aplicación, favorece el ablandamiento del fruto (Yuan & Carbaugh, 2007).

Como regulador de crecimiento de origen natural se encuentra la aminoetoxivinilglicina (AVG), un inhibidor de la síntesis de etileno (Yu & Yang, 1979); en manzanas esta reportado que retrasa la caída de fruta precosecha y la maduración del fruto y prolonga la vida útil en almacenamiento (Autio & Bramlage, 1982; Greene & Schupp, 2004; Rath et al., 2006; Yuan & Carbaugh, 2007).

2.10.1 Aminoetoxivinilglicina (AVG)

La aminoetoxivinilglicina es un aminoácido natural que suprime la producción de etileno en tejidos vegetales por inhibición competitiva de la ACC sintasa, enzima limitante de la velocidad en la vía biosintética de etileno, inhibiendo la conversión de SAM en ACC (Boller et al., 1979; Yang & Hoffman, 1984).

Al limitar la producción de etileno climatérico, AVG reduce la caída de la fruta antes de la cosecha, así como puede retrasar varios eventos de la maduración de la fruta, lo que provoca un retraso en el desarrollo del color, en la conversión del almidón a azúcares y en el ablandamiento de la fruta (Byers, 1997; Greene, 2002; Phan-Thien et al., 2004; Silverman et al., 2004). Esta propiedad del AVG se ha observado en distintos cultivares de manzana (Bramlage et al., 1980; Wang & Dilley, 2001), incluida Cripps Pink (Phan-Thien et al., 2004).

El ReTain contiene 15% p/p de AVG y es un producto comercial orgánico inocuo para los seres humanos y el ambiente. Este es utilizado comercialmente en quintas de manzanos con el fin de disminuir la abscisión de la fruta precosecha, retrasar la maduración de los frutos y/o aumentar la vida de almacenamiento de los mismos ya que afecta a los procesos mediados por etileno (Bangerth, 1978; Çetinbaş et al., 2012; Greene & Schupp, 2004).

La magnitud del retraso en la caída precosecha y en la maduración de las manzanas depende del cultivar, la concentración de AVG (Amarante et al., 2002; Bramlage et al., 1980; Byers, 1997; Schupp & Greene, 2004; Phan-Thien et al., 2004) y el momento de aplicación (Greene, 2005; Schupp & Greene, 2004).

Comercialmente, el AVG como formulación ReTain se utiliza para el control de caída y/o el retraso en la maduración de la manzana unas 4 semanas antes del inicio de cosecha. Sin embargo, varios autores señalan que la ventana de aplicación es bastante amplia. El AVG retrasó la caída y la maduración de la fruta antes de la cosecha cuando se aplicó entre 1 y 4 semanas precosecha en 'McIntosh' (Greene, 2005; Greene & Schupp, 2004), 'Golden Supreme' y 'Golden Delicious' (Yuan & Carbaugh, 2007). El momento en que se aplica AVG influye en el grado de control de la caída antes de la cosecha (Greene, 2002). En general, hay una reducción lineal de la caída al aumentar la concentración (Byers, 1997; Schupp & Greene, 2004). Greene (2002) observó una reducción lineal en la caída al aumentar la

concentración cuando se aplicó AVG 8 semanas o 4 semanas antes de la cosecha, pero no cuando se aplicó 2 semanas precosecha, en este caso, todas las concentraciones dieron como resultado un control de caída similar. Esto sugiere que, si AVG se aplica más cerca del momento de cosecha, puede ser posible reducir la cantidad aplicada y aun así lograr un control de caída comparable al de las dosis más altas que pueden requerirse cuando se aplica antes. Resultados similares obtuvieron Schupp y Greene (2004), en donde la aplicación de AVG a las 8 semanas precosecha a dosis de 150 mg/L y 225 mg/L retrasaron la caída precosecha, sin encontrar efecto al aplicar 75 mg/L en esta misma fecha.

El tiempo de eficacia en el control de caída del AVG luego de la aplicación está relacionado con las condiciones que ocurren durante el año como con el momento de aplicación en un año específico (Greene, 2005). Así mismo, se recomienda el uso de un tensioactivo de silicona para aumentar la eficacia de la aplicación (Byers, 1997; Greene, 2005).

2.10.2 Ácido naftalenacético (ANA)

Una aplicación de ANA puede retrasar la caída de la manzana, y las aplicaciones repetidas retrasan la abscisión del fruto más que aplicaciones únicas (Marini et al., 1993; Yuan & Carbaugh, 2007). Sin embargo, el ablandamiento de la fruta generalmente aumenta con dos aplicaciones o clima cálido después de la primera aplicación (Yuan & Carbaugh, 2007).

El tiempo óptimo de tratamiento varía con el cultivar y la temporada, y ANA por lo general evita la caída de la fruta durante al menos 14 días después del tratamiento (Batjer & Thompson, 1946, como se cita en Marini et al., 1993). La etiqueta del producto comercial ANA sugiere realizar la aplicación entre 1 o 2 semanas precosecha. Según Yuan y Carbaugh (2007), la ventana para la aplicación de ANA es bastante amplia, una aplicación de ANA realizada 3 semanas precosecha fue tan efectiva como la realizada 1 semana precosecha para retrasar la caída de la fruta.

2.10.3 Ácido 3,5,6 - tricloro-2-piridil-oxiacético (3-5-6 TPA)

La auxina sintética 3,5,6-TPA, como producto comercial Maxim®, fue evaluada por Stern y Ben-Arie (2006) en 'Red Delicious' y 'Jonathan', encontrando que aplicaciones de 40 mg/L 2 semanas precosecha, o dos aplicaciones de 30 mg/L 4 y 2 semanas precosecha, fueron efectivas para disminuir la caída de frutos antes de la cosecha en manzanas. Según estos autores, la maduración de la fruta, la calidad en la cosecha y durante el almacenamiento prolongado en frío, no se vieron afectados negativamente por ninguno de los dos tratamientos, en ninguno de los cultivares de manzana.

El presente trabajo evalúa el efecto en el control de caída precosecha y en la calidad interna de la manzana de los reguladores AVG, ANA y 3-5-6 TPA, aplicados a diferentes dosis y momentos en un monte comercial del cv. Cripps pink.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL ENSAYO

El ensayo se realizó durante los meses de abril y mayo del año 2017, en la localidad de Kiyú, al sur-este del departamento de San José, Uruguay (34° 41' S, 56° 44' O).

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron plantas de manzana (*Malus domestica* Borkh), cultivar Cripps Pink, sobre portainjerto Malling 9 (M9). Implantadas en 2007 mediante el sistema de conducción en espaldera, con marco de plantación 4m x 1m y riego localizado.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con submuestreo, con 3 repeticiones. Los tratamientos fueron 7, conformados por la aplicación de 3 productos reguladores de crecimiento, con variaciones de dosis y momento de aplicación, y un testigo sin aplicación (Cuadro 1). Cada unidad experimental estaba constituida por una fila de 10 árboles y en cada una se marcaron 60 centros florales en brindillas (submuestras): 30 con 1 fruto y 30 con 2 frutos, los cuales fueron evaluados una vez por semana durante 7 semanas hasta cosecha (figura 5 y 6).

Los momentos de aplicación de los reguladores de crecimiento se definieron como semanas precosecha (SP), siendo entre 4 y 2 SP según la bibliografía revisada. En el ensayo las aplicaciones se realizaron el 29/3/17 y el 21/4/17, las cuales fueron determinadas en función de las fechas históricas de cosecha del establecimiento y la previsión realizada por el productor y el técnico. Como las fechas de cosechas se atrasaron, finalmente los momentos de aplicación fueron 8 y 5 semanas antes de la cosecha el 22/5/17.

Cuadro 1

Tratamientos que implican uso de reguladores de crecimiento, momento de aplicación y dosis

Tratamiento	Momento de aplicación	Principio activo	Nombre comercial	Dosis p. comercial (/100L)	Dosis p. activo (mg/L)
AVG 62/8	8 SP	AVG	ReTain®	41,5 g	62
AVG 125/8	8 SP	AVG	ReTain®	83,0 g	125
356 TPA 20/8	8 SP	3-5-6 TPA	Maxim®	20,0 g	20
AVG 62/5	5 SP	AVG	ReTain®	41,5 g	62
356 TPA 10/5	5 SP	3-5-6 TPA	Maxim®	10,0 g	10
ANA 17/5	5 SP	ANA	ANA	8,0 cc	17

Nota. Semanas precosecha (SP).

Los reguladores de crecimiento fueron aplicados con un coadyuvante de ésteres metilados de ácidos grasos (EXIT) a 30 cc/100L.

Las aplicaciones se realizaron pulverizando todo el árbol, entre las 12 y las 15 hs. con atomizadora calibrada a 1000 L/ha a punto de goteo. Se dejó fila por medio para que no hubiera interferencia por posible deriva.

3.4 VARIABLES DE RESPUESTA

3.4.1 Caída de fruta

La caída de frutos se evaluó en 2 situaciones: brindillas con 1 fruto por centro floral y con 2 frutos por centro floral (figuras 5 y 6). En cada caso se ajustaron las curvas de caída para todos los tratamientos, sus parámetros y su grado de ajuste. A su vez, también se analizó el número de frutos y el porcentaje de caída en cada una de las fechas de evaluación para todos los tratamientos.

Figura 5

Centro floral con 1 fruto, sin competencia por el espacio y previo a cosecha

**Figura 6**

Centro floral con 2 frutos



3.4.2 Índices de madurez

El análisis de calidad interna se realizó 2 semanas precosecha y al inicio de cosecha en muestreos de 15 frutos por tratamiento. En todos los casos la fruta no presentó daños físicos ni sanitarios. Los índices de madurez evaluados fueron firmeza, sólidos solubles y contenido de almidón.

La firmeza se evaluó mediante un penetrómetro manual “Effegi, Ravenna, Italia”, con diámetro de émbolo 11 mm. Se tomaron dos medidas por fruto, ambas perforaciones se realizaron una vez retirada la epidermis y su ubicación fue contraria en el diámetro ecuatorial de la fruta.

Los sólidos solubles se determinaron midiendo °Brix con refractómetro manual “ATC – 1E, ATAGO, Japón”.

El contenido de almidón fue evaluado mediante el test de yodo según escala de CTIFL (2002) de tipo radial, donde 1 significa mayores contenidos de almidón y 10 menores contenidos. El mismo consistió en cortar la manzana en su diámetro transversal y dejar en imbibición durante 1 minuto en una solución de 12 gr. de yodo metálico, 24 gr. de yoduro de potasio y 1 litro de agua destilada, previo reposo de 24 hs. de la solución (Feippe, 1993).

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La evaluación de caída de fruta fue realizada en centros florales con 1 y 2 frutos de forma independiente y frutos totales sin considerar el tipo de centro en que los mismos estaban ubicados. Además, se analizó la caída de frutos en centros florales con 1 fruto contra centros florales con 2 frutos según tratamientos. Los modelos ajustados para el análisis fecha a fecha se realizaron mediante modelos lineales generalizados mixtos. La función de enlace utilizada fue “logit” para la variable de la familia binomial y el programa estadístico INFOSSTAT®.

Las curvas de caída, fueron ajustadas primero con modelos lineales generalizados mixtos y luego de verificar su significancia se ajustaron además modelos lineales y cuadráticos para profundizar en su comportamiento. En la presentación de los datos, se optó por el modelo que mostró el mejor ajuste.

Para el análisis fecha a fecha se utilizó además la prueba de comparación múltiple de medias DGC ($\alpha=0.05$).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fecha estimada y la fecha real de cosecha presentaron un desajuste de 4 semanas, lo que llevó a que las aplicaciones fueran más tempranas a lo recomendado (8 y 5 SP). A pesar de las diferencias de los momentos de aplicación con los óptimos mencionados en la revisión (4 y 2 SP), fue posible detectar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos con la aplicación de reguladores de crecimiento.

Si bien los óptimos son citados entre 4 y 2 SP, las SP en las que han sido realizadas las aplicaciones de otros trabajos son variables, encontrándose un rango de entre 8 SP y 1 SP (Greene, 2002; Schupp & Greene, 2004; Yuan & Carbaugh, 2007).

4.1 CAÍDA DE FRUTOS EN PRECOSECHA Y COSECHA

Los modelos lineales generalizados mixtos de la variable caída de frutos fueron significativos ($p < 0.05$) para todos los tratamientos y en todas las situaciones (centros florales con 1 fruto, centros florales con 2 frutos y centros florales totales).

Los modelos lineales y cuadráticos ajustados posteriormente también fueron significativos en todos los casos y se optó por el modelo que en cada caso tuvo un mayor coeficiente de determinación (R^2). Los parámetros de cada modelo estimado y su grado de ajuste se presentan en los cuadros 2, 4, y 6 en función de las situaciones evaluadas.

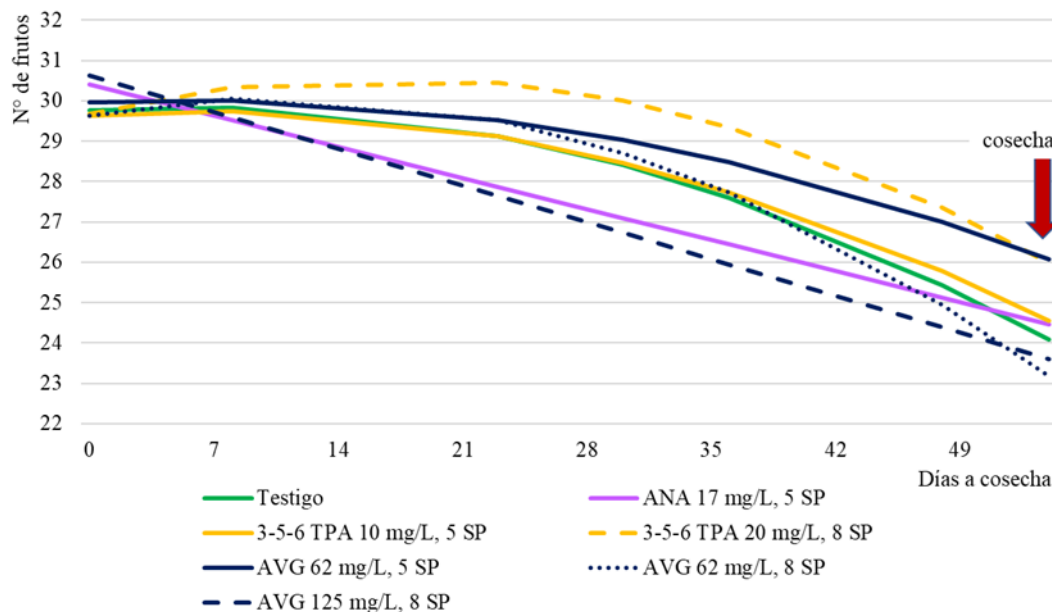
4.1.1 Brindillas de 1 fruto en centro floral

Los resultados de la evolución de la caída de fruta en brindillas de 1 fruto por centro floral mostraron ajustes lineales y cuadráticos. El comportamiento fue lineal para los tratamientos ANA 17/5, 356 TPA 10/8 y AVG 125/8 y cuadrático para los demás (figura 7 y cuadro 2).

Se encontró, además, que el único tratamiento que se diferencia en la tasa de caída respecto al testigo es el 356 TPA 20/8 (figura 7).

Figura 7

Número de frutos por tratamiento según días precosecha en centros florales con 1 fruto



Nota. SP, semanas precosecha.

Cuadro 2

Modelos ajustados para número de frutos promedio por tratamiento en centros florales con 1 fruto

Tratamientos	Modelo ajustado	R ²
Testigo	$\hat{Y} = 29,76 + 0,03x - 0,0025x^2$	0.64
3-5-6 TPA 10 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 29,64 + 0,03 - 0,0023x^2$	0,74
3-5-6 TPA 20 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 29,67 + 0,11x - 0,0033x^2$	0.80
AVG 62 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 29,96 + 0,02x - 0,0017x^2$	0,87
AVG 62 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 29,64 + 0,08x - 0,0037x^2$	0,73
ANA 17 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 30,4 - 0,11x$	0.73
AVG 125 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 30,63 - 0,13x$	0.77

Nota. Semanas precosecha (SP).

El número de frutos retenidos según semanas previas a cosecha desde el inicio del ensayo hasta la cosecha no mostró diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las fechas. Los porcentajes de caída oscilaron entre 13 y 22% y en promedio se observó un 19% de caída (Cuadro 3).

Cuadro 3

Número de frutos retenidos en centros con 1 fruto y % de caída por fecha

Tratamiento	Semanas precosecha													
	8		7		4		3		2		1		0	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
Testigo	90	0	89	1	85	6	85	6	85	6	76	16	71	21
ANA 17/5	90	0	89	1	83	8	81	10	81	10	76	16	70	22
356 TPA 10/5	89	0	89	0	87	2	86	3	82	8	78	12	73	18
356 TPA 20/8	90	0	90	0	90	0	90	0	88	2	85	6	75	17
AVG 62/5	90	0	90	0	88	2	88	2	85	6	82	9	78	13
AVG 62/8	90	0	89	1	87	3	87	3	86	4	74	18	70	22
AVG 125/8	90	0	89	1	84	7	83	8	78	13	72	20	70	22

Nota. 356 TPA 10/5 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 5 semanas precosecha (SP); 356 TPA 20/8 es 3-5-6 TPA 20 mg/L aplicado 8 SP; AVG 62/5 es AVG 62 mg/L aplicado 5 SP; AVG 62/8 es AVG 62 mg/L aplicado 8 SP; ANA 17/5 es ANA 17 mg/L aplicado 5 SP; 356 TPA 10/8 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 8 SP; AVG 125/8 es AVG 125 mg/L aplicado 8 SP.

La diferencia encontrada en la tasa de caída entre el tratamiento testigo y el 356 TPA 20/8 (figura 7) no se traduce en diferencias en el número de frutos para ninguna de las fechas evaluadas en esa comparación de tratamientos (cuadro 3).

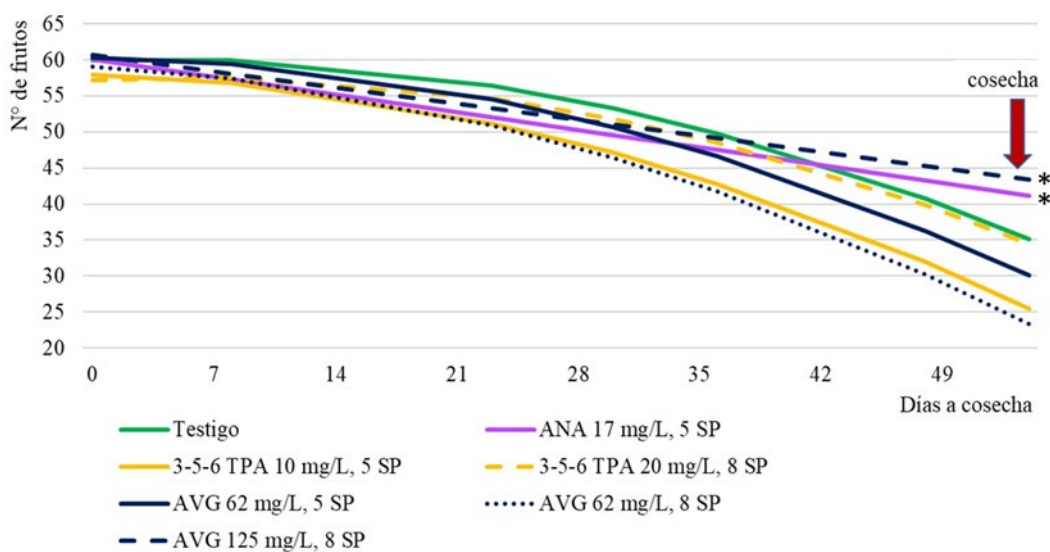
Estos resultados podrían estar explicados por lo que mencionan Dražeta et al. (2004) y Bangerth (2000), donde citan que, al no chocarse una fruta con otra, no hay competencia por el espacio de crecimiento en el centro floral, disminuyendo así la posibilidad de compresión del tejido xilemático y habilitando un buen suministro de hormonas, nutrientes y proteínas al fruto. A su vez, Ward et al. (2001) y Sun et al. (2009) plantean la hipótesis de que los pedicelos cortos y rígidos de algunos cultivares aumentan la caída debido a que la fruta dentro de un racimo se choca, y al crecer una se empuja contra la otra favoreciendo la abscisión.

4.1.2 Brindilla de 2 frutos en centro floral

La evolución de la caída en brindillas de 2 frutos por centro floral mostró respuesta lineal en el caso de ANA 17/5 y AVG 125/8 con 0.35 y 0.32 frutos que caen por día respectivamente, mientras que el resto de los tratamientos presentaron respuesta cuadrática. (figura 8 y cuadro 4). En la comparación de las tasas de caída, hubo diferencias entre los tratamientos ANA 17/5 y AVG 125/8 en relación al testigo. (figura 8), siendo éstos tratamientos los únicos que presentan respuesta lineal.

Figura 8

Número de frutos por tratamiento según días precosecha en centros florales con 2 frutos



Nota. SP, semanas precosecha; *, curva de caída significativamente distinta al testigo ($p < 0.05$).

Cuadro 4

Modelos ajustados para número de frutos promedio por tratamiento en centros florales con 2 frutos

Tratamientos	Modelo ajustado	R ²
Testigo	$\hat{Y} = 59.92 + 0,08x - 0,01x^2$	0,88
3-5-6 TPA 10 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 57.89 - 0,06 - 0,01x^2$	0,79
3-5-6 TPA 20 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 57.19 + 0,12x - 0,01x^2$	0,85
AVG 62 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 60.3 - 0,02x - 0,01x^2$	0,96
AVG 62 mg/L, 8 SP.	$\hat{Y} = 59.01 - 0,12x - 0,01x^2$	0,89
ANA 17 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 60.09 - 0,35x$	0,85
AVG 125 mg/L, 8 SP.	$\hat{Y} = 60.64 - 0,32x$	0,94

Nota. Semanas precosecha (SP).

En el análisis fecha a fecha no se observan diferencias en el número de frutos entre las 8 y 3 semanas precosecha (cuadro 5). En la tercera semana el tratamiento que se diferencia del resto con un menor número de frutos es el AVG 62/8. En las dos últimas fechas (1 SP y cosecha) se distinguen dos grupos de tratamientos, el primero formado por el ANA 17/5, el AVG 62/5, el 356 TPA 20/8 y el AVG 125/8 que presentan igual número de frutos. pero superior al grupo 2. El segundo grupo, con menos número de frutos en las fechas finales está integrado por el testigo, AVG 62/8 y 356 TPA 10/5 (cuadro 5)

Cabe destacar que el ANA 17/5 y el AVG 125/8, además de presentar un mayor número de frutos respecto al testigo 1 SP y en cosecha, también presentaron una menor tasa de caída en el análisis de curvas respecto al testigo (figura 8 y cuadro 5). Estos resultados evidencian el efecto de retención de frutos de dichos tratamientos.

En promedio, el segundo grupo de tratamientos presentó un 47% de caída en cosecha, mientras que el primero mostró un 33%, reduciendo en un 14% los frutos caídos respecto al grupo 2 (cuadro 5).

Cuadro 5

Número de frutos retenidos en centros con 2 frutos y % de caída por fecha

Tratamiento	Semanas precosecha													
	8		7		4		3		2		1		0	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
Testigo	180	0	178	1	168	7	166	8	138a	23	114b	37	100b	44
ANA 17/5	176	0	172	2	160	9	155	12	140a	20	132a	25	119a	32
356 TPA 10/5	176	0	167	5	155	12	150	15	134a	24	106b	40	91b	48
356 TPA 20/8	172	0	171	1	165	4	163	5	143a	17	120a	30	111a	35
AVG 62/5	180	0	179	1	170	6	163	9	143a	21	126a	30	115a	36
AVG 62/8	176	0	172	2	160	9	155	12	119b	32	107b	39	92b	48
AVG 125/8	180	0	176	2	160	11	157	13	143a	21	140a	22	128a	29

Nota. Letras distintas difieren estadísticamente con $p < 0.05$; ANA 17 mg/L aplicado 5 semanas precosecha (SP); 356 TPA 10/5 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 5 SP; 356 TPA 20/8 es 3-5-6 TPA 20 mg/L aplicado 8 SP; AVG 62/5 es AVG 62 mg/L aplicado 5 SP; AVG 62/8 es AVG 62 mg/L aplicado 8 SP; AVG 125/8 es AVG 125 mg/L aplicado 8 SP.

La efectividad de los tratamientos se encontró condicionada al momento y a la dosis de aplicación.

Nuestros resultados reafirman el efecto de retención de fruta del AVG requiriendo mayores dosis en aplicaciones más tempranas. La mayor dosis aplicada 8 SP y a baja

dosis 5 SP mostró menor caída en las últimas 2 fechas, sin embargo, a baja dosis aplicado 8 SP no se encontraron diferencias significativas para ninguna fecha de evaluación (cuadro 5). Esto concuerda con lo reportado por Greene (2002) y Schupp y Greene (2004), quienes mencionan que el grado de control de la caída antes de la cosecha es influenciado por el momento en que se aplica el AVG, donde hay una reducción lineal de la caída al aumentar la concentración. Greene (2002) sugiere que, si se aplica AVG más tarde en la temporada (más cerca de la cosecha), es posible reducir la cantidad aplicada y aun así lograr un control de caída comparable al de las dosis más altas que pueden requerirse cuando se aplica antes. Similares resultados obtienen Schupp y Greene (2004), al encontrar un incremento en la fuerza de retención de los frutos del cv. 'McIntosh' con AVG (ABG-3097) aplicado a las 8, 4 y 2 SP a 3 dosis en cada fecha (75, 150 o 225 mg/L), observando que la duración del control de caída aumentó linealmente con el aumento de la concentración de AVG, y que la aplicación a las 4 o 2 SP resultó en un mayor control de caída que cuando se aplicó a las 8 SP.

En relación a la aplicación de ANA, Yuan y Carbaugh (2007) reportan que la ventana para su aplicación es bastante amplia, siendo efectiva tanto a las 3 SP como a 1 SP. En este ensayo la aplicación de ANA planificada para 2 SP se concretó a las 5 SP debido a un atraso en la misma, siendo igualmente efectiva en la retención de frutos.

El 356 TPA fue eficaz en el control de caída aplicado 8 SP a 20mg/L, no siendo así con 10 mg/L a las 5 SP. Nuestros resultados evidencian sensibilidad al 356 TPA a menor dosis y en forma más temprana (aplicación más alejada de la cosecha) que los obtenidos por Stern y Ben-Arie (2006), que solo hallaron efecto al utilizar 40 mg/L de 356 TPA a las 2 SP, o 30 mg/L aplicados a las 4 y 2 SP, no encontrando efecto al utilizar 30 mg/L a las 4 SP y luego 15 mg/L a las 2 SP en el cv. 'Jonathan' aunque sí en el cv 'Red Delicious' en el último tratamiento.

El efecto de los reguladores de crecimiento en la retención de fruta puede vincularse a la inhibición de la biosíntesis de etileno (Autio & Bramlage, 1982; Bangerth, 1978), o a la expresión de genes que codifican las enzimas hidrolíticas en la ZA (Brown, 1997; Li & Yuan, 2008; Sexton & Roberts, 1982), o al disminuir la sensibilidad del tejido al etileno (Meir et al., 2006), dado que la velocidad y el grado de abscisión dependen del equilibrio endógeno entre los niveles de auxina y etileno en el tejido (Roberts et al., 2002; Taylor & Whitelaw, 2001). Esta respuesta a los reguladores podría estar vinculada a la sensibilidad de los cultivares (Amarante et al., 2002) y/o a las condiciones climáticas distintas (Stern & Ben-Arie, 2006). Stern y Ben-Arie (2006) trabajaron con los cvs. 'Red Delicious' y 'Jonathan' en Israel, región semiárida con veranos de alta temperatura (35°C máx.) y baja humedad (< 40% HR). Amarante et al. (2002) reporta resultados de trabajos realizados en el cv. 'Red Delicious' en EEUU bajo condiciones de clima templado, mientras que nuestro ensayo fue conducido en condiciones de clima neotropical (Severino et al., 2020) en cv. Cripps Pink.

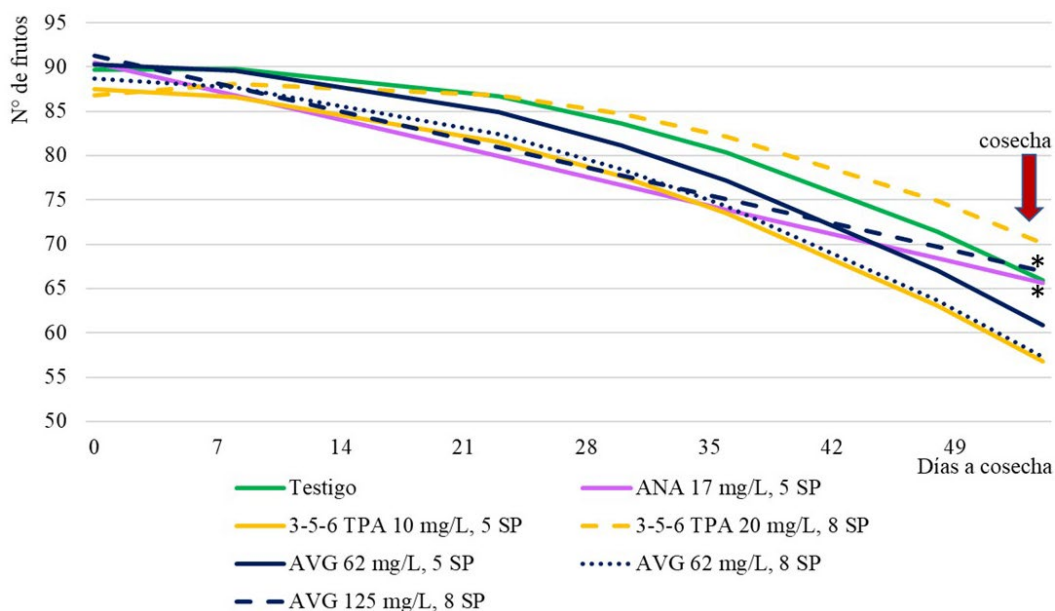
4.1.3 Brindillas con 1 y 2 frutos en centro floral (total)

Los resultados en la evolución de caída en brindillas con 1 o 2 frutos por centro floral muestran ajustes lineales para los tratamientos ANA 17/5 y AVG 125/8 y cuadrático para el resto de los tratamientos. A su vez, éstos dos tratamientos con ajuste lineal presentaron diferencias en las tasas de caída respecto al testigo (figura 9 y cuadro 6).

Estos resultados coinciden con los obtenidos en brindillas con 2 frutos por centro floral. ANA 17/5 y el AVG 125/8 fueron los tratamientos con menor tasa de caída respecto al testigo y presentaron un mejor ajuste con la recta que con la parábola (figura 8 y cuadro 4).

Figura 9

Número de frutos por tratamiento según días precosecha en centros con 1 y 2 frutos



Nota. SP, semanas precosecha.

Cuadro 6

Modelos ajustados para número de frutos promedio por tratamiento en el total de centros florales

Tratamientos	Modelo ajustado	R ²
Testigo	$\hat{Y} = 89.67 + 0,1x - 0,01x^2$	0.87
3-5-6 TPA 10 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 87.53 - 0.03x - 0.01x^2$	0,79
3-5-6 TPA 20 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 86.85 + 0,23x - 0,01x^2$	0.90
AVG 62 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 90.26 - 0.0044x - 0,01x^2$	0,97
AVG 62 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 88.65 - 0,04x - 0,01x^2$	0,94
ANA 17 mg/L, 5 SP	$\hat{Y} = 90.49 - 0,46x$	0.85
AVG 125 mg/L, 8 SP	$\hat{Y} = 91.27 - 0,45x$	0.95

Nota. Semanas precosecha (SP).

Los resultados en el análisis fecha a fecha presentan para la última fecha de medición (cosecha) la misma agrupación de tratamientos que en brindillas con 2 frutos por centro floral. Los tratamientos ANA 17/5, AVG 125/8, AVG 62/5 y 356 TPA 20/8 obtuvieron un mayor número de frutos retenidos respecto al testigo y resto de tratamientos (cuadro 5 y 7). En esta situación la caída promedio del primer y segundo grupo es de 29% y 38% respectivamente, significando una reducción del 9% la caída de frutos en los tratamientos del primer grupo (cuadro 7).

En el caso de 1 SP, no se observan diferencias en el número de frutos entre tratamientos (cuadro 7). Estos resultados coinciden con los obtenidos en centros florales con 1 fruto (cuadro 3), pero no en centros florales con 2 frutos, en los cuales a partir de ese momento ya se diferenciaban 2 grupos en la caída (cuadro 5). Esto podría explicarse debido a un porcentaje menor de caída en los centros florales con 1 fruto en relación a los centros florales con 2 frutos, amortiguando la caída de fruta cuando evaluamos los frutos totales.

Cuadro 7

Número de frutos retenidos totales y porcentaje de caída por fecha

Tratamiento	Semanas precosecha													
	8		7		4		3		2		1		0	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
Testigo	270	0	267	1	253	6	251b	7	223	17	190	30	171b	37
ANA 17/5	266	0	261	2	243	9	236b	11	221	17	208	22	189a	29
356 TPA 10/5	265	0	256	3	242	9	236b	11	216	18	184	31	164b	38
356 TPA 20/8	262	0	261	0	255	3	253a	3	231	12	205	22	186a	29
AVG 62/5	270	0	269	0	258	4	251b	7	228	16	208	23	193a	29
AVG 62/8	266	0	261	2	247	7	242b	9	205	23	181	32	162b	39
AVG 125/8	270	0	265	2	244	10	240b	11	221	18	212	21	198a	27

Nota. Letras distintas difieren estadísticamente con $p < 0.05$; ANA 17 mg/L aplicado 5 semanas precosecha (SP); 356 TPA 10/5 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 5 SP; 356 TPA 20/8 es 3-5-6 TPA 20 mg/L aplicado 8 SP; AVG 62/5 es AVG 62 mg/L aplicado 5 SP; AVG 62/8 es AVG 62 mg/L aplicado 8 SP; AVG 125/8 es AVG 125 mg/L aplicado 8 SP.

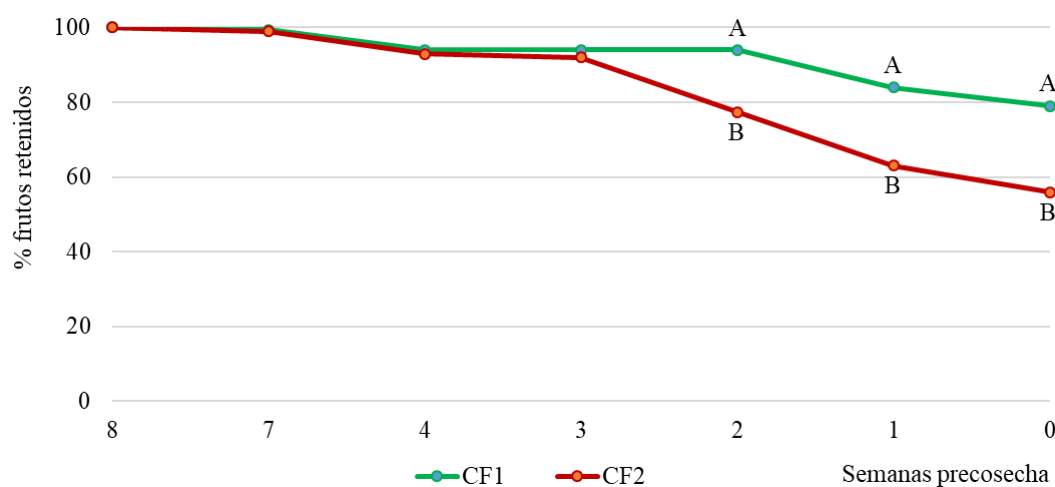
4.1.4 Brindillas con 1 fruto vs. con 2 frutos en centro floral

La comparación entre brindillas con 1 fruto vs. brindillas con 2 frutos por centro floral no muestran diferencias en el número de frutos caídos para ningún tratamiento desde las 8 SP hasta las 3 SP. Este comportamiento (sin diferencias entre centros florales con 1 y 2 frutos) se mantiene hasta cosecha para los tratamientos ANA 17/5 y AVG 125/8. Estos dos tratamientos mencionados se destacan, además, por presentar un comportamiento lineal en la caída, tanto al evaluar la curva de caída de los centros florales con 1 fruto como con 2 frutos, siendo distinto a los demás tratamientos donde sus curvas se ajustan mejor a un comportamiento cuadrático (figura 6 y 8). A partir de las 2 SP el número de frutos caídos en centros florales de 2 frutos es mayor que en centros de 1 fruto para los tratamientos testigo, 356 TPA 10/5, 356 TPA 20/8, AVG 62/5 y AVG 62/8. (Cuadro 8).

En el tratamiento testigo (caída natural de la fruta), se observa que la abscisión en cosecha, en los centros con 1 fruto fue de 21% y en los de 2 frutos fue de 44%, significando un 23% más de caída en centros florales de 2 frutos que en los centros florales de 1 fruto (figura 10 y cuadro 8).

Figura 10

% de frutos en centros con 1 fruto vs con 2 frutos según semanas precosecha



Nota. Centro floral con 1 fruto (CF1), centro floral con 2 frutos (CF2). Letras distintas difieren estadísticamente con $p < 0.05$.

Cuadro 8

% de caída de centros con 1 vs. 2 frutos, según tratamiento y momento

Tratamiento	Semanas precosecha													
	8		7		4		3		2		1		0	
	CF1	CF2	CF1	CF2	CF1	CF2	CF1	CF2	CF1	CF2	CF1	CF2	CF1	CF2
Testigo	0	0	1	1	6	7	6	8	6a	23b	16a	37b	21a	44b
ANA 17/5	0	0	1	2	8	9	10	12	10a	20a	16a	25a	22a	32a
356 TPA 10/5	0	0	0	5	2	12	3	15	8a	24b	12a	40b	18a	48b
356 TPA 20/8	0	0	0	1	0	4	0	5	2a	17b	6a	30b	17a	35b
AVG 62/5	0	0	0	1	2	6	2	9	6a	21b	9a	30b	13a	36b
AVG 62/8	0	0	1	2	3	9	3	12	4a	32b	18a	39b	22a	48b
AVG 125/8	0	0	1	2	7	11	8	13	13a	21a	20a	28a	22a	29a

Nota. Centro floral con 1 fruto (CF1), centro floral con 2 frutos (CF2). Letras distintas dentro de la fecha y tratamiento difieren estadísticamente con $p < 0.05$; ANA 17/5 es ANA 17 mg/L aplicado 5 semanas precosecha (SP); 356 TPA 10/5 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 5 SP; 356 TPA 20/8 es 3-5-6 TPA 20 mg/L aplicado 8 SP; AVG 62/5 es AVG 62 mg/L aplicado 5 SP; AVG 62/8 es AVG 62 mg/L aplicado 8 SP; AVG 125/8 es AVG 125 mg/L aplicado 8 SP.

Las diferencias de los porcentajes de caída en centros florales de 1 y 2 frutos para los tratamientos con comportamiento cuadrático (testigo, AVG a baja dosis y 356 TPA en ambas dosis y momentos) podrían estar explicadas en la competencia por el espacio tal cual lo expone Dražeta et al. (2004) y Bangerth (2000).

Por otro lado, el ANA 17/5 y AVG 125/8 no muestra diferencias de caída entre centros de 1 y 2 frutos en ninguna de las fechas. Este resultado reafirma el efecto de retención de frutos de estos tratamientos.

4.1.5 Calidad interna

La evaluación de madurez realizada 2 semanas previas a cosecha no presentó diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de los tres indicadores (cuadro 9).

Cuadro 9

Índice de almidón, firmeza y sólidos solubles 2 semanas precosecha según tratamiento

Tratamiento	Almidón (escala CTIFL)	Presión de pulpa (lbf/pg ²)	Sólidos solubles (°Brix)
AVG 125/8	4,0	15,4	14,1
AVG 62/8	4,0	15,9	13,9
AVG 62/5	3,5	15,8	13,9
356 TPA 20/8	4,2	15,4	14,2
356 TPA 10/5	4,4	15,8	14,1
ANA 17/5	3,6	15,3	14,5
Testigo	4,3	15,6	14,2

Nota. Letras distintas difieren estadísticamente con $p < 0.05$; AVG 125/8 es AVG 125 mg/L aplicado 8 semanas precosecha (SP); AVG 62/8 es AVG 62 mg/L aplicado 8 SP; AVG 62/5 es AVG 62 mg/L aplicado 5 SP; 356 TPA 20/8 es 3-5-6 TPA 20 mg/L aplicado 8 SP; 356 TPA 10/5 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 5 SP; ANA 17 mg/L aplicado 5 SP.

Los resultados del análisis en la semana de inicio de cosecha se muestran en el cuadro 10. Para dicho momento, el contenido de almidón, no presentó diferencias entre los tratamientos y se encontró cercano a los valores óptimos citados por Moggia y Pereira (2003) y Fresno et al. (2014) quienes mencionan valores de degradación sutilmente por encima de 3,5 en la escala CTIFL para guarda prolongada o exportación. Para las variables presión de pulpa y sólidos solubles, los tratamientos no presentaron diferencias frente al tratamiento testigo. Se observan diferencias entre los tratamientos 356 TPA 20/8, AVG 62/8 y 356 TPA 10/5 para la variable sólidos solubles. Para dicha variable los valores se encuentran entre 13,5 y 14,2 °Brix siendo el óptimo reportado superior a 13 ° Brix (Benítez, 2001; Calvo et al., 2008; Moggia & Pereira, 2003). Para la variable presión de pulpa, fueron detectadas diferencias entre los tratamientos ANA 17/5, AVG 62/8, AVG 62/5 y 356 TPA 10/5. Los valores para esta variable están siempre dentro de los rangos comerciales aceptables, siendo la referencia para exportación o guarda prolongada en el entorno de 16.5 lb (Benítez, 2001).

Cuadro 10*Índice de almidón, firmeza y sólidos solubles al inicio de cosecha según tratamiento*

Tratamiento	Almidón (escala CTIFL)	Presión de pulpa (lbf/pg ²)	Sólidos Solubles (°Brix)
AVG 125/8	4,1 a	15,96 ab	13,7 ab
AVG 62/8	3,8 a	16,25 b	13,5 a
AVG 62/5	3,7 a	16,36 b	13,7 ab
356 TPA 20/8	3,9 a	15,98 ab	14,2 b
356 TPA 10/5	4,2 a	16,27 b	13,5 a
ANA 17/5	4,3 a	15,34 a	14,1 ab
Testigo	3,9 a	15,78 ab	13,7 ab

Nota. Letras distintas difieren estadísticamente con $p < 0.05$; AVG 125/8 es AVG 125 mg/L aplicado 8 semanas precosecha (SP); AVG 62/8 es AVG 62 mg/L aplicado 8 SP; AVG 62/5 es AVG 62 mg/L aplicado 5 SP; 356 TPA 20/8 es 3-5-6 TPA 20 mg/L aplicado 8 SP; 356 TPA 10/5 es 3-5-6 TPA 10 mg/L aplicado 5 SP; ANA 17 mg/L aplicado 5 SP.

En cuanto a la aplicación de ANA, los resultados son similares a los reportados por Yuan y Carbaugh (2007), donde una única aplicación temprana de ANA 5 SP no tuvo efecto en la maduración de la fruta.

En relación al AVG, hay reportes de que puede retrasar la maduración de la fruta, siendo la magnitud de este retraso dependiente del cultivar, de la concentración y del momento de aplicación (Amarante et al., 2002; Autio & Bramlage, 1982; Bangerth, 1978; Bramlage et al., 1980; Greene, 2005; Phan-Thien et al., 2004; Schupp & Greene, 2004). Sin embargo, en este ensayo no fue posible encontrar esas diferencias.

Respecto al 356 TPA, los resultados obtenidos por Stern y Ben-Arie (2006) no mostraron efecto en la maduración de la fruta respecto al testigo, al igual que en nuestro trabajo.

5 CONCLUSIONES

- Los reguladores de crecimiento mostraron efecto en la reducción de la caída de fruta total al momento de la cosecha, dependiendo de la dosis y el momento de aplicación.
- Hay efecto en la reducción de la caída de fruta de los reguladores de crecimiento a altas dosis, a pesar de aplicarse 8 semanas antes de cosecha, fecha anticipada a la citada como óptima por bibliografía.
- El efecto de las dosis de AVG en la retención de fruta es dependiente del momento de aplicación.
- Hay mayor caída natural de fruta en centros florales con 2 frutos (44%) respecto a con 1 fruto (21%).
- No hubo efecto de los reguladores de crecimiento en la retención de fruta de los centros florales con 1 fruto.
- Hubo efecto en la reducción de caída de frutos en los centros florales con 2 frutos y en los centros florales totales con la aplicación de AVG 125 mg/L-8 SP, AVG 62 mg/L-5 SP, 3-5-6 TPA 20 mg/L-8 SP y ANA 17 mg/L-5 SP, su magnitud promedio es de 14% y 9%, respectivamente.
- Los tratamientos con AVG 125 mg/L-8 SP y ANA 17 mg/L-5 SP fueron los únicos en presentar un comportamiento lineal en la curva de caída de frutos, mientras que el testigo y demás tratamientos presentaron una respuesta cuadrática.
- Los tratamientos con AVG 125 mg/L-8 SP y ANA 17 mg/L-5 SP no mostrar diferencias de caída entre los centros florales con 1 y 2 frutos en ningún momento.
- Los reguladores de crecimiento no se diferenciaron del testigo en los indicadores de madurez de la fruta al evaluarse a las 2 y 1 semana precosecha.
- Las dificultades en la determinación de la fecha de cosecha hacen necesario un método más preciso para definir los momentos de aplicación.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, M. E. (1992). *Ethylene in Plant Biology*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091628-6.50001-1>
- Agustí, M. (2004). *Fruticultura*. Mundi-Prensa.
- Amarante, C. V. T. D., Simioni, A., Megguer, C. A., & Blum, L. E. B. (2002). Effect of aminoethoxyvinilglycine (AVG) on preharvest fruit drop and maturity of apples. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(3), 661-664. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300022>
- Arseneault, M. H., & Cline, J. A. (2016). A review of apple preharvest fruit drop and practices for horticultural management. *Scientia Horticulturae*, 211, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.002>
- Autio, W. R., & Bramlage, W. J. (1982). Effects of AVG on maturation, ripening, and storage of apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107(6), 1074-1077. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.6.1074>
- Azcón Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). McGraw Hill. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Bangerth, F. (1978). The effect of a substituted amino acid on ethylene biosynthesis, respiration, ripening and preharvest drop of apple fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103(3), 401-404. <https://doi.org/10.21273/JASHS.103.3.401>
- Bangerth, F. (2000). Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. *Plant Growth Regulation*, 31, 43-59. <https://doi.org/10.1023/a:1006398513703>
- Bar-Dror, T., Dermastia, M., Kladnik, A., Žnidarič, M. T., Novak, M. P., Meir, S., Burd, S., Philosoph-Hadas, S., Ori, N., Sonogo, L., Dickman, M. B., & Lers, A. (2011). Programmed cell death occurs asymmetrically during abscission in tomato. *The Plant Cell*, 23(11), 4146-4163. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.092494>
- Benítez, C. E. (2001). *Cosecha y poscosecha de peras y manzanas en los valles irrigados de la Patagonia*. INTA.
- Berüter, J. (1985). Sugar accumulation and changes in the activities of related enzymes during development of the apple fruit. *Journal of Plant Physiology*, 121(4), 331-341. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(85\)80026-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80026-2)

- Beyer, E. M., & Morgan, P. W. (1971). Abscission: The role of ethylene modification of auxin transport. *Plant Physiology*, 48(2), 208-212. <https://doi.org/10.1104/pp.48.2.208>
- Binder, B. M., & Patterson, S. E. (2009). Ethylene -dependent and -independent regulation of abscission. *Stewart Postharvest Review*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.2212/spr.2009.1.1>
- Blankenship, S. M., & Unrath, R. C. (1988). Pal and ethylene content during maturation of red and golden delicious apples. *Phytochemistry*, 27(4), 1001-1002. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(88\)80260-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(88)80260-7)
- Blanusa, T., Else, M. A., Atkinson, C. J., & Davies, W. J. (2005). The regulation of sweet cherry fruit abscission by polar auxin transport. *Plant Growth Regulation*, 45(3), 189-198. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-3568-9>
- Bleecker, A. B., & Patterson, S. E. (1997). Last exit: Senescence, abscission, and meristem arrest in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 9(7), 1169-1179. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1169>
- Boller, T., Herner, R. C., & Kende, H. (1979). Assay for and enzymatic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Planta*, 145(3), 293-303. <https://doi.org/10.1007/BF00454455>
- Bramlage, W. J., Greene, D. W., Autio, W. R., & McLaughlin, J. M. (1980). Effects of aminoethoxyvinylglycine on internal ethylene concentrations and storage of apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105(6), 847-851. <https://doi.org/10.21273/jashs.105.6.847>
- Brookfield, P. L., Hughes, J. G., & Watkins, C. B. (1993). Fruit maturity and quality of selectively picked 'Royal Gala' apples. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 21(2), 183-187.
- Brookfield, P., Murphy, P., Harker, R., & MacRae, E. (1997). Starch degradation and starch pattern indices; interpretation and relationship to maturity. *Postharvest Biology and Technology*, 11(1), 23-30. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)01416-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)01416-6)
- Brown, K. M. (1997). Ethylene and abscission. *Physiologia Plantarum*, 100(3), 567-576. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1997.1000319.x>
- Byers, R. E. (1997). Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop, maturity, and cracking of several apple cultivars. *Journal of Tree Fruit Production*, 2(1), 77-97. http://dx.doi.org/10.1300/J072v02n01_06

- Cabrera, D., Feippe, A., & Rodríguez, P. (2002). *Resultados experimentales portainjertos, sistemas de conducción y postcosecha en manzana*. INIA.
- Calvo, G., Candan, A. P., Gomila, T., & Villarreal, P. (2008). *Cripp' s Pink: Investigación regional sobre el comportamiento de la variedad en cosecha y poscosecha*. INTA.
- Campana, B. M. R. (2007). Índices de madurez, cosecha y empaque de fruta. En G. O. Sozzi (Ed.), *Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento* (pp. 707-766). Universidad de Buenos Aires.
- Candan, A. P., Calvo, G., & Gomila, T. (2006). Cripps pink: Una manzana con marca propia. *Fruticultura y diversificación*, 12(48), 22-30.
- Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. (2002). *Pomme: Code amidon*. https://wissen.obstwein-technik.eu/lib/exe/fetch.php?media=obstbau_reife:code_amidon.pdf
- Çetinbaş, M., Butar, S., Onursal, C. E., & Koyuncu, M. A. (2012). The effects of pre-harvest ReTain [aminoethoxyvinylglycine (AVG)] application on quality change of “Monroe” peach during normal and controlled atmosphere storage. *Scientia Horticulturae*, 147, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.025>
- Chaoui, A., & El Ferjani, E. (2005). Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. *Comptes Rendus - Biologies*, 328(1), 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2004.10.001>
- Cripps, J. E. L., Richards, L. A., & Mairata, A. M. (1993). “Pink Lady” apple. *HortScience*, 28(10), 1057-1058.
- Dal Cin, V., Danesin, M., Botton, A., Boschetti, A., Dorigoni, A., & Ramina, A. (2008). Ethylene and preharvest drop: The effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). *Plant Growth Regulation*, 56(3), 317-325. <https://doi.org/10.1007/s10725-008-9312-5>
- Dal Cin, V., Velasco, R., & Ramina, A. (2009). Dominance induction of fruitlet shedding in *Malus × domestica* (L. Borkh): Molecular changes associated with polar auxin transport. *BMC Plant Biology*, 9, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2229-9-139>
- Davies, P. J. (2010a). Regulatory factors in hormone action: Level, location and signal transduction. En P. J. Davies (Ed.), *Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action!* (pp. 16-35). Cornell University. <https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy/book/10.1007/978-1-4020-2686-7>

- Davies, P. J. (2010b). The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. En P. J. Davies (Ed.), *Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action!* (pp. 1-15). Cornell University. <https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy/book/10.1007/978-1-4020-2686-7>
- Devoghalaere, F., Doucen, T., Guitton, B., Keeling, J., Payne, W., Ling, T. J., Ross, J. J., Hallett, I. C., Gunaseelan, K., Dayatilake, G. A., Diak, R., Breen, K. C., Tustin, D. S., Costes, E., Chagné, D., Schaffer, R. J., & David, K. M. (2012). A genomics approach to understanding the role of auxin in apple (*Malus x domestica*) fruit size control. *BMC Plant Biology*, *12*(1), Artículo e7. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-7>
- Dražeta, L., Lang, A., Hall, A. J., Volz, R. K., & Jameson, P. E. (2004). Causes and effects of changes in xylem functionality in apple fruit. *Annals of Botany*, *93*(3), 275-282. <https://doi.org/10.1093/aob/mch040>
- Eccher, G., Begheldo, M., Boschetti, A., Ruperti, B., & Botton, A. (2015). Roles of ethylene production and ethylene receptor expression in regulating apple fruitlet abscission. *Plant physiology*, *169*(1), 125-137. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00358>
- Estornell, L. H., Agustí, J., Merelo, P., Talón, M., & Tadeo, F. R. (2013). Elucidating mechanisms underlying organ abscission. *Plant Science*, *199*, 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.10.008>
- Faragher, J. D. (1983). Temperature regulation of anthocyanin accumulation in apple skin. *Journal of Experimental Botany*, *34*(10), 1291-1298. <https://doi.org/10.1093/jxb/34.10.1291>
- Faragher, J. D., & Brohier, R. L. (1984). Anthocyanin accumulation in apple skin during ripening: Regulation by ethylene and phenylalanine ammonia-lyase. *Scientia Horticulturae*, *22*(1-2), 89-96. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90087-6](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90087-6)
- Feippe, A. (1993). *Momento óptimo de cosecha en manzana*. INIA. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807155151.pdf>
- Ferrero, S., Carretero-Paulet, L., Mendes, M. A., Botton, A., Eccher, G., Masiero, S., & Colombo, L. (2015). Transcriptomic signatures in seeds of apple (*Malus domestica* L. Borkh) during fruitlet abscission. *PLoS One*, *10*(3), Artículo e0120503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120503>
- Finet, C., & Jaillais, Y. (2012). AUXOLOGY: When auxin meets plant evo-devo. *Developmental Biology*, *369*(1), 19-31. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2012.05.039>

- Fresno, A., Lepe, V., Hernández, O., & Torres, C. (2014). Cripps Pink (Pink Lady™): Consideraciones técnicas. *Pomáceas*, 14(2). https://pomaceas.utalca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletin_N14_2.pdf
- Giovannoni, J. (2001). Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual review of plant biology*, 52(1), 725-749. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.725>
- Goffinet, M. C., Lakso, A. N., & Robinson, T. L. (1996). Fruit drop in ‘Empire’ apple by position within the cluster in unthinned trees vs. trees thinned to single-fruited clusters. *HortScience*, 31(4), 665-665.
- Goldway, M., Sapir, G., & Stern, R. A. (2007). Molecular basis and horticultural application of the gametophytic self-incompatibility system in rosaceous tree fruits. En J. Jules (Ed.), *Plant breeding reviews* (Vol. 28, pp. 215-237). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470168028.ch7>
- Greene, D. W. (2002). Preharvest drop control and maturity of “Delicious” apples as affected by Aminoethoxyvinylglycine (AVG). *Journal of Tree Fruit Production*, 3(1), 1-10. https://doi.org/10.1300/J072v03n01_01
- Greene, D. W. (2005). Time of aminoethoxyvinylglycine application influences preharvest drop and fruit quality of “McIntosh” apples. *HortScience*, 40(7), 2056-2060.
- Greene, D. W. (2010). The development and use of plant bioregulators in tree fruit production. *Acta Horticulturae*, (884), 31-40. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.884.1>
- Greene, D. W., Krupa, J., & Autio, W. (2014). Factors influencing preharvest drop of apples. *Acta Horticulturae*, 1042, 231-235. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1042.28>
- Greene, D. W., & Schupp, J. R. (2004). Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest drop, fruit quality, and maturation of ‘McIntosh’ apples. *HortScience*, 39(5), 1036-1041. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.5.1036>
- Harada, T., Sunako, T., Wakasa, Y., Soejima, J., Satoh, T., & Niizeki, M. (2000). An allele of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase gene (Md-ACS1) accounts for the low level of ethylene production in climacteric fruits of some apple cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 101, 742-746. <https://doi.org/10.1007/s001220051539>
- Hulme, A. C. (1958). Some aspects of the biochemistry of apple and pear fruits. *Advances in Food Research*, 8, 297-413. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60022-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60022-1)

- Jarvis, M. C., Briggs, S. P. H., & Knox, J. P. (2003). Intercellular adhesion and cell separation in plants. *Plant, Cell and Environment*, 26(7), 977-989.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01034.x>
- Kende, H. (1993). Ethylene biosynthesis. *Annual review of plant biology*, 44(1), 283-307. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.44.060193.001435>
- Knox, J. P. (1992). Cell adhesion, cell separation and plant morphogenesis. *The Plant Journal*, 2(2), 137-141. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.1992.00137.x>
- Lancaster, J. E., & Dougall, D. K. (1992). Regulation of skin color in apples. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(6), 487-502.
<https://doi.org/10.1080/07352689209382324>
- Lang, A., & Ryan, K. G. (1994). Vascular development and sap flow in apple pedicels. *Annals of Botany*, 74(4), 381-388.
<https://doi.org/10.1006/anbo.1994.1131>
- Leslie, M. E., Lewis, M. W., & Liljegren, S. J. (2007). Organ abscission. En J. A. Roberts & Z. Gonzalez-Carranza (Eds.), *Plant cell separation and adhesion* (Vol. 25, pp. 106-136). Blackwell Publishing.
<https://doi.org/10.1002/9780470988824.ch6>
- Li, J., & Yuan, R. (2008). NAA and ethylene regulate expression of genes related to ethylene biosynthesis, perception, and cell wall degradation during fruit abscission and ripening in “Delicious” apples. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27(3), 283-295. <https://doi.org/10.1007/s00344-008-9055-6>
- Li, J., Zhu, H., & Yuan, R. (2010). Profiling the expression of genes related to ethylene biosynthesis, ethylene perception, and cell wall degradation during fruit abscission and fruit ripening in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(5), 391-401.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.135.5.391>
- Ljung, K. (2013). Auxin metabolism and homeostasis during plant development. *Development*, 140(5), 943-950. <https://doi.org/10.1242/dev.086363>
- Mao, L., Begum, D., Chuang, H. W., Budiman, M. A., Szymkowiak, E. J., Irish, E. E., & Wing, R. A. (2000). JOINTLESS is a MADS-box gene controlling tomato flower abscission zone development. *Nature*, 406(6798), 910-913.
<https://doi.org/10.1038/35022611>
- Marais, E., Jacobs, G., & Holcroft, D. M. (2001). Colour response of ‘Cripps Pink’ apples to postharvest irradiation is influenced by maturity and temperature. *Scientia horticultrae*, 90(1-2), 31-41.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00256-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00256-9)

- Marini, R. P., Byers, R. E., & Sowers, D. L. (1993). Repeated applications of NAA control preharvest drop of 'Delicious' apples. *Journal of Horticultural Science*, 68(2), 247-253. <https://doi.org/10.1080/00221589.1993.11516349>
- McCown, M. (1943). Anatomical and chemical aspects of abscission of fruits of the apple. *Botanical Gazette*, 105(2), 212-220.
- McManus, M. T., Thompson, D. S., Merriman, C., Lyne, L., & Osborne, D. J. (1998). Transdifferentiation of mature cortical cells to functional abscission cells in bean. *Plant Physiology*, 116(3), 891-899.
- Meir, S., Hunter, D. A., Chen, J. C., Halaly, V., & Reid, M. S. (2006). Molecular changes occurring during acquisition of abscission competence following auxin depletion in *Mirabilis jalapa*. *Plant Physiology*, 141(4), 1604-1616. <https://doi.org/10.1104/pp.106.079277>
- Miyazaki, J. H., & Yang, S. F. (1987). The methionine salvage pathway in relation to ethylene and polyamine biosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 69(2), 366-370. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1987.tb04302.x>
- Moggia, C., & Pereira, M. (2003). Manzanas Pink Lady. *Pomáceas*, 3(4), 1-4. https://pomaceas.utralca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletin_N03_4.pdf
- Moggia, C., & Pereira, M. (2007). Etileno y maduración de manzanas. *Pomáceas*, 7(1), 1-4. https://pomaceas.utralca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletin_N07_1.pdf
- Normanly, J. (1997). Auxin metabolism. *Physiologia Plantarum*, 100(3), 431-442. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03047.x>
- Normanly, J. (2010). Approaching cellular and molecular resolution of auxin biosynthesis and metabolism. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(1), Artículo a001594. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001594>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2023>
- Osborne, D. J. (1989). Abscission. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 8(2), 103-129.
- Osborne, D. J., & McManus, M. T. (2005). *Hormones, signals and target cells in plant development*. Cambridge University Press.
- Osborne, D. J., & Sargent, J. A. (1976). The positional differentiation of abscission zones during the development of leaves of *Sambucus nigra* and the response of the cells to auxin and ethylene. *Planta*, 132(2), 197-204. <https://doi.org/10.1007/BF00388903>

- Parra-Lobato, M. C., & Gomez-Jimenez, M. C. (2011). Polyamine-induced modulation of genes involved in ethylene biosynthesis and signalling pathways and nitric oxide production during olive mature fruit abscission. *Journal of Experimental Botany*, 62(13), 4447-4465. <https://doi.org/10.1093/jxb/err124>
- Patterson, S. E. (2001). Cutting loose: Abscission and dehiscence in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 126(2), 494-500. <https://doi.org/10.1104/pp.126.2.494>
- Pech, J. C., Purgatto, E., Bouzayen, M., & Latché, A. (2012). Ethylene and fruit ripening. *The Plant Hormone Ethylene*, 44, 275-304. <https://doi.org/10.1002/9781118223086.ch11>
- Phan-Thien, K. Y., Wargo, J. M., Mitchell, L. W., Collett, M. G., & Rath, A. C. (2004). Delay in ripening of Gala and Pink Lady apples in commercial orchards following pre-harvest applications of aminoethoxyvinylglycine. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(8), 807-812. <https://doi.org/10.1071/EA03136>
- Poapst, P. A., Ward, G. M., & Phillips, W. R. (1959). Maturation of McIntosh apples in relation to starch loss and abscission. *Canadian journal of plant science*, 39(3), 257-263. <https://doi.org/10.4141/cjps59-037>
- Prescott, A. G., & John, P. (1996). Dioxygenases: Molecular structure and role in plant metabolism. *Annual review of plant biology*, 47(1), 245-271. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.47.1.245>
- Purgatto, E., Lajolo, F. M., Oliveira do Nascimento, J. R., & Cordenunsi, B. R. (2001). Inhibition of β -amylase activity, starch degradation and sucrose formation by indole-3-acetic acid during banana ripening. *Planta*, 212, 823-828. <https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy/article/10.1007/s004250000441>
- Rath, A. C., Kang, I. K., Park, C. H., Yoo, W. J., & Byun, J. K. (2006). Foliar application of aminoethoxyvinylglycine (AVG) delays fruit ripening and reduces pre-harvest fruit drop and ethylene production of bagged “Kogetsu” apples. *Plant Growth Regulation*, 50(1), 91-100. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9131-5>
- Robert, H. S., & Friml, J. (2009). Auxin and other signals on the move in plants. *Nature Chemical Biology*, 5(5), 325-332. <https://doi.org/10.1038/nchembio.170>
- Roberts, J. A., Elliott, K. A., & Gonzalez-Carranza, Z. H. (2002). Abscission, dehiscence, and other cell separation processes. *Annual Review of Plant Biology*, 53(1), 131-158. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.092701.180236>

- Roberts, J. A., Whitelaw, C. A., Gonzalez-Carranza, Z. H., & McManus, M. T. (2000). Cell separation processes in plants: Models, mechanisms and manipulation. *Annals of Botany*, 86(2), 223-235. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1203>
- Robinson, T., Lopez, S., & Iungerman, K. (2010). Chemical thinning and summer pgrs for consistent return cropping of “Honeycrisp” apples. *Acta Horticulturae*, (884), 635-642. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.884.84>
- Schupp, J. R., & Greene, D. W. (2004). Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest drop, fruit quality, and maturation of “McIntosh” apples: I. Concentration and timing of dilute applications of AVG. *HortScience*, 39(5), 1030-1035. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.5.1030>
- Sembdner, G., Atzorn, R., & Schneider, G. (1994). Plant hormone conjugation. *Plant Molecular Biology*, 26(5), 1459-1481. <https://doi.org/10.1007/BF00016485>
- Severino, V., Arias, M., Dogliotti, S., Frins, E., Gonzalez, J., & Yuri, J. A. (2020). Climatic and physiological parameters related to the progress and prediction of apple sunburn damage in a neotropical climate. *Advances in Horticultural Science*, 34(4), 431-440. <https://doi.org/10.13128/ahsc-9764>
- Sexton, R., Lewis, L. N., Trewavas, A. J., & Kelly, P. (1985). Ethylene and abscission. En J. A. Roberts & G. A. Tucker (Eds). *Ethylene and plant development* (pp. 173-196). Butterworths.
- Sexton, R., & Roberts, J. A. (1982). Cell biology of abscission. *Annual Review of Plant Physiology*, 33(1), 133-162.
- Silverman, F. P., Petracek, P. D., Noll, M. R., & Warrior, P. (2004). Aminoethoxyvinylglycine effects on late-season apple fruit maturation. *Plant Growth Regulation*, 43(2), 153-161. <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000040113.05826.d2>
- Sozzi, G. O. (2007). Fisiología de la maduración de los frutos de especies leñosas. En G. O. Sozzi (Ed.), *Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento* (pp. 669-686). Universidad de Buenos Aires.
- Stepanova, A. N., Robertson-Hoyt, J., Yun, J., Benavente, L. M., Xie, D. Y., Doležal, K., Schlereth, A., Jürgens, G., & Alonso, J. M. (2008). TAA1-mediated auxin biosynthesis is essential for hormone crosstalk and plant development. *Cell*, 133(1), 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2008.01.047>

- Stern, R. A., & Ben-Arie, R. (2006). Pre-harvest drop control of “Red Delicious” and “Jonathan” apple (*Malus domestica*) as affected by the synthetic auxin 3,5,6-TPA. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *81*(6), 943-948. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512180>
- Sun, L., Bukovac, M. J., Forsline, P. L., & Van Nocker, S. (2009). Natural variation in fruit abscission-related traits in apple (*Malus*). *Euphytica*, *165*(1), 55-67. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9754-x>
- Tanaka, H., Dhonukshe, P., Brewer, P. B., & Friml, J. (2006). Spatiotemporal asymmetric auxin distribution: A means to coordinate plant development. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *63*(23), 2738-2754. <https://doi.org/10.1007/s00018-006-6116-5>
- Taylor, J. E., & Whitelaw, C. A. (2001). Signals in abscission. *New Phytologist*, *151*(2), 323-339. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646x.2001.00194.x>
- Toranzo, J. O. (2016). *Producción mundial de manzanas y peras*. INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/14506#>
- Van de Poel, B., Vandenzavel, N., Smet, C., Nicolay, T., Bulens, I., Mellidou, I., Vandoninck, S., Hertog, M. L. A. T. M., Derua, R., Spaepen, S., Vanderleyden, J., Waelkens, E., De Proft, M. P., Nicolai, B. M., & Geeraerd, A. H. (2014). Tissue specific analysis reveals a differential organization and regulation of both ethylene biosynthesis and E8 during climacteric ripening of tomato. *BMC Plant Biology*, *14*(1), Artículo e11. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-11>
- Van der Westhuizen, M. W. (2020). *The use of plant growth regulators to improve apple pedicel length and reduce fruit cracking* [Disertación doctoral, Stellenbosch University]. SUNScholar. <https://scholar.sun.ac.za/server/api/core/bitstreams/85297e07-162e-484c-9a4e-85a55050053a/content>
- Vanneste, S., & Friml, J. (2009). Auxin: A trigger for change in plant development. *Cell*, *136*(6), 1005-1016. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.03.001>
- Van Overbeek, J. (1959). Auxins. *The Botanical Review*, *25*(2), 269-350.
- Ververidis, P., & John, P. (1991). Complete recovery in vitro of ethylene-forming enzyme activity. *Phytochemistry*, *30*(3), 725-727. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)85241-Q](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)85241-Q)
- Wang, Z., & Dilley, D. R. (2001). Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, can enhance red color development without over-ripening apples. *HortScience*, *36*(2), 328-331. <https://doi.org/10.21273/hortsci.36.2.328>

- Ward, D. L. (2004). *Factors affecting pre harvest fruit drop of apple* [Disertación doctoral, Virginia Polytechnic Institute and State University]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/profile/Richard-Marini/publication/237525668_Factors_Affecting_Preharvest_Fruit_Drop_of_Apple/links/546dea270cf2193b94c65802/Factors-Affecting-Preharvest-Fruit-Drop-of-Apple.pdf
- Ward, D. L., Marini, R. P., & Byers, R. E. (2001). Relationships among day of year of drop, seed number, and weight of mature apple fruit. *HortScience*, 36(1), 45-48. <https://doi.org/10.21273/hortsci.36.1.45>
- Watada, A. E., Herner, R. C., Kader, A. A., Romani, R. J., & Staby, G. L. (1984). Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. *HortScience*, 19(1), 20-21. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.1.20>
- Westwood, M. (1982). *Fruticultura de zonas templadas*. Mundi-Prensa
- Woodward, A. W., & Bartel, B. (2005). Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany*, 95(5), 707-735. <https://doi.org/10.1093/aob/mci083>
- Yang, S. F., & Hoffman, N. E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Plant Physiology*, 35(132), 155-189. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.35.060184.001103>
- Yu, Y. B., & Yang, S. F. (1979). Auxin-induced ethylene production and its inhibition by aminoethoxyvinylglycine and cobalt ion. *Plant Physiology*, 64(6), 1074-1077. <https://doi.org/10.1104/pp.64.6.1074>
- Yuan, R., & Carbaugh, D. H. (2007). Effects of NAA, AVG, and 1-MCP on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Golden Supreme' and 'Golden Delicious' apples. *HortScience*, 42(1), 101-105. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.101>
- Zažimalová, E., Murphy, A. S., Yang, H., Hoyerová, K., & Hošek, P. (2010). Auxin transporters—why so many?. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 2(3), Artículo a001552. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001552>