



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación de la brotación basal y de la producción de rosa en respuesta a la aplicación de citoquininas

William Mauricio Laiton Alfonso

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Agronomía

Bogotá, Colombia

2021

Evaluación de la brotación basal y de la producción de rosa en respuesta a la aplicación de citoquininas

William Mauricio Laiton Alfonso

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ciencias Agrarias

Director:

Doctor Víctor Julio Flórez Roncancio

Línea de Investigación:

Fisiología de Cultivos

Grupo de Investigación:

Horticultura

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Agronomía

Bogotá, Colombia

2021

A mis hermosas hijas Laura Ximena y María Lucia

Declaración de obra original

Yo William Mauricio Laiton Alfonso declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

William Mauricio Laiton Alfonso

Fecha 15/06/2021

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agrarias de Universidad Nacional de Colombia por haberme dado la oportunidad de recibir la formación académica y científica para optar por el título de Magíster en Ciencias Agrarias en la línea de profundización de Fisiología de cultivos.

Al profesor Víctor Julio Flórez Roncancio, director de tesis, por su importante respaldo y por su confianza.

Al compañero Nelson Alirio Cruz, por su asesoría estadística. Al ingeniero agrícola Rafael Boada Rivas, gerente de la empresa VUELVEN S.A.S, por permitirme la realización del ensayo y otorgarme tiempo laboral para cursar esta maestría.

A los profesores de la maestría por el aporte académico que me brindaron.

Resumen

Evaluación de la brotación basal y de la producción de rosa en respuesta a la aplicación de citoquininas

La aplicación de citoquininas a la base de las plantas de rosa es una técnica que busca aumentar la productividad del cultivo. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del uso de bencil aminopurina (BAP) y tidiazurón (TDZ) en plantas de rosa variedad Freedom, e interpretar los índices fisiológicos y tasas de crecimiento, así como características comerciales en un cultivo de la sabana de Bogotá. Se aplicaron tres niveles de BAP y TDZ con la generación de herida y sin ella en la base de las plantas. Durante dos ciclos de producción se midieron longitud, calibre de tallos, masa fresca y seca, área foliar y tallos cosechados. Los resultados muestran un crecimiento de basales y tallos comerciales ajustados al modelo de crecimiento logístico. La aplicación de las citoquininas con herida en la base de la planta potencializa el efecto de las fitohormonas aumentando la producción, pero disminuyendo la longitud y calibre de los tallos, aumentando la formación de tallos ciegos. Las concentraciones de BAP de 5.000 y 10.000 (mg L⁻¹) incrementaron el número de tallos de rosa cosechados; sin embargo, tallos florales significativamente más largos y de mayor calibre se obtuvieron sin el uso de estas sustancias.

Palabras clave: Bencil amino purina, Tidiazurón, basales, rosa var. Freedom

Abstract

Evaluation of basal sprouts and rose production in response to the application of cytokinins

The application of cytokinins to the base of rose plants is a technique that seeks to increase crop productivity. The goal of the research was to evaluate the effect of the use of benzyl aminopurine (BAP) and thidiazuron (TDZ) on red rose plants of the Freedom variety and to interpret the physiological indices, rates of growth and commercial characteristics in a cultivation of the plateau of Bogota. Three levels of BAP and TDZ with and without wound generation at the base of the plants were applied. During two production cycles, length, stem size, fresh weight, dry weight, leaf area and harvested stems were measured. The results show a growth of basal and commercial stems adjusted to the logistic growth model. The application cytokinins with wound at the base of the plant potentiates the effect of phytohormones by increasing basal shoot production but decrease the length, caliber of stems as well as increasing the formation of blind stems. BAP concentrations of 5,000 and 10,000 mg L⁻¹ increased the number of rose stems harvested, however, significantly longer and higher caliber floral stems were obtained without the use of these substances.

Keywords: Benzyl amino purine, thidiazuron, basal shoots, rose var. Freedom

Contenido

DECLARACIÓN DE OBRA ORIGINAL	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
CONTENIDO.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE TABLAS	XVII
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVO	3
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 CITOQUININAS	4
2.1.1 Señalización	9
2.1.2 Degradación e inactivación de citoquininas	10
2.2 BENCIL AMINOPURINA (BAP)	11
2.3 TIDIAZURÓN (TDZ)	12
2.4 APLICACIÓN DE CITOQUININAS EN ROSA	15
2.5 BROTACIÓN Y RAMIFICACIÓN	17
2.6 MODELO DE CRECIMIENTO E ÍNDICES FISIOLÓGICOS.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1 CONDICIONES DEL EXPERIMENTO	23
3.2 MATERIAL VEGETAL	23
3.3 INVERNADERO Y CONDICIONES DE CLIMA.....	23
3.4 FERTILIZACIÓN Y RIEGO.....	23
3.5 MANEJO DE PLANTAS	25
3.6 MODELO DE CRECIMIENTO, TASAS E ÍNDICES FISIOLÓGICOS	25
3.6.1 Modelo Logístico	25
3.6.2 Tasa e índices de crecimiento	25
3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26

3.7.1 Tratamientos	26
3.7.2 Muestreo y registro de información.....	28
<i>Crecimiento de la brotación</i>	<i>28</i>
<i>Número de brotes</i>	<i>28</i>
<i>Calibre de brotes.....</i>	<i>28</i>
<i>Longitud de brotes en la primera cosecha</i>	<i>28</i>
<i>Productividad por tratamiento</i>	<i>29</i>
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 LONGITUD DE TALLOS BASALES	30
4.1.1 Tasa absoluta de crecimiento	31
4.1.2 Tasa relativa de crecimiento	33
4.2 LONGITUD Y TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO DE LOS TALLOS FLORALES.....	34
4.2.1 Tasa relativa de crecimiento	35
4.3 ÁREA FOLIAR Y TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO DE LOS TALLOS FLORALES	38
4.4 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE LOS TALLOS FLORALES	41
4.5 ÁREA FOLIAR ACUMULADA DE LOS TALLOS FLORALES.....	42
4.6 MASA SECA Y SU TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO DE LOS TALLOS FLORALES.....	43
4.6.1 Tasa relativa de crecimiento	45
4.7 MASA FRESCA Y MASA SECA ACUMULADAS EN LOS TALLOS FLORALES.....	47
4.8 RELACIÓN DE MASA FOLIAR	50
4.9 RELACIÓN DE ÁREA FOLIAR	50
4.10 ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA	52
4.11 TASA DE ASIMILACIÓN NETA.....	52
5 INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD	55
5.1 NÚMERO DE TALLOS BASALES POR PLANTA	55
5.1.1 Crecimiento de los tallos basales una semana después de aplicar los tratamientos	55
5.1.2 Diámetro de tallos basales.....	57
5.1.3 Relación entre número de basales y su calibre	57
5.1.4 Tallos ciegos en la cosecha	59
5.1.5 Relación entre los diámetros de los tallos basales y de los florales de primera cosecha	59
5.2 DISTRIBUCIÓN DE MASA SECA.....	61
5.3 PRODUCCIÓN DE TALLOS FLORALES POR PLANTA EN PRIMERA COSECHA	61
5.3.1 Precocidad de la cosecha	62

5.3.2 Longitud comercial de los tallos	64
6. CONCLUSIONES	68
7. REFERENCIAS.....	LXXI

Lista de figuras

Figura 1. Estructura química de la kinetina.....	5
Figura 2. Estructura química de los isómeros de la zeatina.....	5
Figura 3. Estructura química de las citoquininas naturales presentes en plantas.....	6
Figura 4. Estructura de fenilureas con actividad citoquinínica.....	9
Figura 5. Reacción catalizada por la enzima citoquinina oxidasa/deshidrogenasa.	10
Figura 6. Estructura química de bencil amino purina.	12
Figura 7 Estructura química del Tidiazurón.	13
Figura 8. Comportamiento de variables climáticas y edáficas durante el periodo de evaluación de la emisión de tallos basales en plantas de rosa variedad Freedom, en una finca al norte de la sabana de Bogotá. A. Temperatura y humedad relativa, B. CE y pH del suelo.	24
Figura 9. Forma de aplicación de los tratamientos sobre la corona de las plantas de rosa variedad Freedom. A. Aplicación con segueta rayando (herida) la corona de las plantas, B. Aplicación con espuma.	27
Figura 10. Curvas de crecimiento en A y Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en B para la variable longitud de tallos basales ajustadas al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencil aminopurina (BAP) y Tidiazuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).....	32
Figura 11. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable longitud de tallos basales en plantas de rosa variedad Freedom, tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	33
Figura 12. Curvas de crecimiento en A y comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en B para la variable longitud de tallos florales de primera cosecha ajustadas al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).....	36
Figura 13. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable longitud de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom,	

tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	37
Figura 14. Comportamiento del área foliar en A y de su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en B de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	40
Figura 15. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	42
Figura 16. Comportamiento del área foliar acumulada de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	43
Figura 17. Comportamiento de la masa seca total en A y de su respectiva la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en B de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	46
Figura 18. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable masa seca total en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	47
Figura 19. Comportamiento de la masa fresca en A y de la masa seca en B acumuladas en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	48
Figura 20. Comportamiento de la relación masa foliar (RMF) en A y de la relación área foliar (RAF) en B en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	51
Figura 21. Comportamientos de la relación de área foliar específica (AFE) en A y de la tasa de asimilación neta (TAN) en B de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiodiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).	53

- Figura 22.** Número de brotes basales inducidos en **A** y crecimiento de estos brotes basales luego de una semana en **B** en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 56
- Figura 23.** Diámetro de los brotes basales en **A** y relación entre el diámetro del basal y el número de basales inducidos en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 58
- Figura 24.** Producción de tallos ciegos a primera cosecha en **A** y detalles de la formación de tallos deformes en **B** y tallos ciegos en **C** en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 60
- Figura 25.** Relación entre los diámetros del tallo basal y de los tallos florales cosechados de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 61
- Figura 26.** Distribución de masa seca en tallos florales de primera cosecha de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 62
- Figura 27.** Producción de tallos florales a primera cosecha en **A** y tallos florales por planta sin cosechar, 80 días (12 semanas) después de la poda en **B** de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 63
- Figura 28.** Distribución de longitudes comerciales de los tallos florales cosechados de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH). 64

Lista de tablas

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la emisión de basales y producción en plantas de rosa variedad Freedom, en una finca al norte de la sabana de Bogotá.	27
Tabla 2. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable longitud de tallos basales al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con BAP y TDZ.....	31
Tabla 3. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable Longitud de tallos florales ajustadas al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con BAP y TDZ.....	34
Tabla 4. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable área foliar de tallos florales al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con BAP y TDZ.....	39
Tabla 5. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable masa seca de cosecha al modelo logístico, en rosa variedad Freedom tratada con citoquininas.	44

Introducción

Colombia es el segundo exportador de flores en el mundo, actualmente cultiva más de cincuenta especies, dentro de las que se encuentra la rosa que ocupa el 65% del área sembrada. Los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Reino Unido y Japón que compran el 85% de la oferta floricultora del país. Si se segmentan los mercados de acuerdo con la calidad de la flor requerida, la producción de rosa para exportación puede separarse en dos grandes grupos de acuerdo al tipo de la flor demandada: i) flores de tallos delgados y longitud inferior a 60 centímetros, que son distribuidas en supermercados en arreglos pre elaborados o buqués e incluye toda la gama de colores, y ii) rosas de tallos gruesos y longitudes superiores a 70 centímetros para arreglos florales robustos y que requiere de nuevas variedades preferiblemente de rosas rojas, ya que es el color más empleado para los festejos relacionados con amor y amistad.

La producción intensiva de rosas se caracteriza por el uso de invernaderos y por la implementación de técnicas especiales como la aplicación de hormonas vegetales para optimizar la calidad y la productividad de los cultivos. Es común el uso de las Citoquininas (Cqs) para promover el crecimiento de brotes laterales y generar cambios en la morfología de las plantas (Hashemabadi & Zarchini, 2010; Morel, Crespel, Galopin, & Moulia, 2012). Esta práctica impacta en la productividad y ayuda a ofertar flores de diferente calidad para diversos usos y mercados (Ahmad, Khalid, Khan, & Saleem, 2011; Thornley, 1999).

En la planta de rosa es importante inducir basales ya que el número y la calidad de estos se correlaciona con la estructura y producción de la planta. Estos brotes forman la estructura del arbusto y son la base de su productividad. La inducción de brotación proporciona un mayor número de tallos y mejora las plantas desde su formación determinando las cualidades de futuros tallos y permitiendo una mayor aceptación en el mercado (Boumaza et al., 2010).

Para acelerar brotación en especies leñosas como las rosáceas, se han utilizado diferentes concentraciones de Cqs sintéticas como Bencil amino purina (BAP) y Tiazurón (TDZ), es el caso del manzano (Dayatilake, Palmer, & Tustin, 2011; Monder & Hetman, 2011), ciruelo (Calderón & Rodríguez, 1996), y zarzamora (Galindo, González, Muratalla, Soto, & Livera, 2004), entre otras.

Avendaño y Pardo (1992) destacan la importancia de utilizar BAP en rosas, con el objetivo de buscar aumento de producción o calidad; sin embargo, dependiendo de la dosis, se podrían obtener efectos no deseados en las planta. Por otro lado, el TDZ es un inductor de brotación que no se ha utilizado hasta el momento en plantaciones comerciales de rosa. En este estudio se busca evaluar el efecto de la aplicación de estas Cqs sobre la producción de brotes y calidad en rosa. Para tal fin, se aplicaron BAP y TDZ en diferentes concentraciones en plantas de rosa variedad *Freedom*, con el fin de determinar el efecto en la inducción de brotes basales y su impacto en la calidad de la producción obtenida sobre estos portadores. Los resultados obtenidos en este ensayo hacen parte de información pertinente a las técnicas de manejo de reguladores de crecimiento implementadas por los cultivadores de rosa.

1. Objetivo

Evaluar el efecto de Bencil amino purina (BAP) y Tiazurón (TDZ) en la generación de brotes basales y en la calidad comercial de la flor obtenida en plantas de rosa var. Freedom

1.1 Objetivos específicos

1. Determinar tasas e índices fisiológicos en el crecimiento de brotes basales y tallos florales generados con la aplicación de BAP y TDZ en plantas de rosa var. Freedom.
2. Cuantificar las características comerciales de los tallos florales obtenidos sobre la brotación basal en plantas de rosa var. Freedom sometidas a tratamientos con BAP y TDZ.

2. Revisión de literatura

Las hormonas vegetales o fitohormonas se definen como sustancias de origen natural que funcionan a bajas concentraciones y son, en la mayoría de los casos, capaces de trasladarse en la estructura de la planta y unirse a una proteína receptora específica. Esta definición es equivalente a la de reguladores del crecimiento vegetal, que también pueden ser sustancias sintéticas con actividad similar a las hormonas vegetales. Los grupos de fitohormonas básicas son: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno, ácido abscísico, poliaminas, brasinoesteroides, jasmonatos, ácido salicílico y estrigolactonas (Frébort, Kowalska, Hluska, Frébortova, & Galuszka, 2011).

2.1 Citoquininas

Las Cqs intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta en procesos como división y diferenciación celular, actividad meristemática, brotación, dominancia apical, relaciones fuente – vertedero, movimiento y absorción de nutrientes, filotaxia y desarrollo vascular (Kieber & Schallerb, 2014). Estimulan la transcripción y síntesis de proteínas y retardan su degradación, prolongando la durabilidad de las hojas (juvenilidad) (Engels, Kirkby, & White, 2012). Con análogos de citoquinas aromáticas sintéticas (Vylčílová et al., 2015) o BAP (Rasouli, Ahmadi, Behmanesh, & Daneshi, 2015) se suprime la dominancia apical inducida por auxinas y se promueve la germinación de semillas, la producción de almidón, clorofila, diferenciación de brotes y ramificación (Jafari & Othman, 2011; Kunikowska, Byczkowska, Doniak, & Kazmierczak, 2013). La interacción de aplicaciones de Cqs junto con el efecto de factores bióticos y abióticos se ha documentado con el fin de evaluar altas concentraciones de estas sustancias que permiten aumentar la actividad de señalización, tamaño y crecimiento de meristemas, así que una reducción de sus niveles durante etapas vegetativas inhibe la brotación (Hang, Yang, y Jiao, 2014; Kieber & Schallerb, 2014).

El efecto de fitohormonas en la división celular fue estudiado en 1913 por Gottlieb Haberlandt y luego en la década de 1940 por Folke y Skoog. Posteriormente, en 1955 se

identificó la kinetina (Figura 1), que es un derivado de la adenina (aminopurina) llamado también 6-furfurilaminopurina.

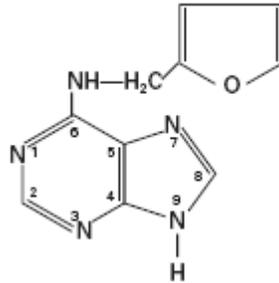
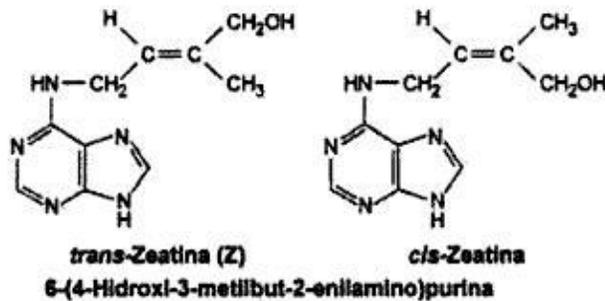


Figura 1. Estructura química de la kinetina.

Fuente: Taiz y Zeiger (2002)

En 1973 Letham aisló del maíz la molécula zeatina (Z) y la identificó como *trans*-6-(4-hidroxi-3-metilbut-2-enilamino) purina, observando que la configuración *trans* (*tZ*) era la más activa (Figura 2). Igualmente, era la más abundante en las plantas de forma natural junto a dihidrozeatina (DZ) e isopentenil adenina (iP) (Taiz & Zeiger, 2002).

Figura 2. Estructura química de los isómeros de la zeatina.



Fuente: Taiz y Zeiger (2002)

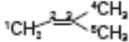
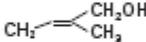
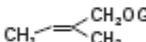
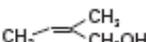
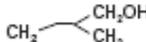
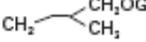
Las Cqs se sintetizan en toda la planta, incluso en tejidos aéreos (Hirose et al., 2008; Kamada-Nobusada & Sakakibara, 2009; Sakakibara, Takei, & Hirose, 2006). Se producen endógenamente y activan su señalización a concentraciones muy bajas (Taiz & Zeiger, 2002), por ejemplo, $\text{pmol}\cdot\text{g}^{-1}$ (10^{-12}) de masa seca (Doležal et al., 2007). Entre 1 y

10 nM (Azcón-Bieto & Talón, 2003) y 1-50 pmol.g⁻¹ de masa fresca (Galuszka et al., 2008).

La vida media de estas fitohormonas en brotes es de aproximadamente un día, indicando que se metabolizan rápidamente en los puntos de crecimiento (Dieleman, Verstappen, & Kuiper, 1998). Las Cqs naturales son derivadas de la adenina con al menos un sustituyente en la posición N⁶ (Figura 3).

Figura 3. Estructura química de las citoquininas naturales presentes en plantas.



R1	R2	R3	R4	Nombre común	Abreviatura	
	H	H	-	N ⁶ (Δ ² -isopentenil)adenina	iP	
	H	ribosil	-	N ⁶ (Δ ² -isopentenil)adenosina	[9R] iP	
	CH ₃ S	ribosil	-	2-metiltio-N ⁶ (Δ ² -isopentenil)adenosina	[2MeS9R] iP	
	H	ribótido	-	N ⁶ (Δ ² -isopentenil)adenosina-5'-P	[9R-5'P] iP	
	H	-	glicosil	N ⁶ (Δ ² -isopentenil)adenina-7-glicósido	[7G] iP	
	H	H	-	<i>trans</i> -zeatina	Z	
	H	ribosil	-	<i>t</i> -zeatina ribósido	[9R] Z	
	H	glicosil	-	<i>t</i> -zeatina-9-glicósido	[9G] Z	
	H	-	glicosil	<i>t</i> -zeatina-7-glicósido	[7G] Z	
	H	alanil	-	ácido lupínico	[9Ala] Z	
	H	ribótido	-	<i>t</i> -zeatina ribósido-5'-P	[9R-5'P] Z	
	CH ₃ S	ribosil	-	2-metiltio- <i>t</i> -zeatina ribósido	[2MeS9R] Z	
	H	H	-	<i>t</i> -zeatina-0-glicósido	(OG) Z	
	H	ribosil	-	<i>t</i> -zeatina ribósido-0-glicósido	(OG)[9R] Z	
	H	H	-	<i>cis</i> -zeatina	<i>cis</i> -Z	
	CH ₃ S	ribosil	-	2-metiltio- <i>cis</i> -zeatina ribósido	<i>cis</i> -[2MeS9R] Z	
		H	H	-	dihidrozeatina	(diH) Z
		H	ribosil	-	dihidrozeatina ribósido	(diH)[9R] Z
		H	glicosil	-	dihidrozeatina-9-glicósido	(diH)[9G] Z
		H	-	glicosil	dihidrozeatina-7-glicósido	(diH)[7G] Z
H		alanil	-	ácido dihidrolupínico	(diH)[9Ala] Z	
H	ribótido	-	dihidrozeatina ribósido-5'-P	(diH)[9R-5'P] Z		
	H	H	-	dihidrozeatina-0-glicósido	(diHOG) Z	
	H	ribosil	-	dihidrozeatina ribósido-0-glicósido	(diHOG)[9R] Z	

Fuente: Azcón-Bieto y Talón (2013)

Con base en este sustituyente, las Cqs se pueden clasificar en dos tipos: citoquininas aromáticas, donde la base purina tiene una cadena lateral aromática y citoquininas isoprenoides, en las cuales un grupo isoprenoide se adhiere a la cadena lateral de la base purina. Las vías de metabolismo de las Cqs son de dos tipos: por modificación del anillo de adenina o por modificación de la cadena lateral (Iqbal, Masood, & Khan, 2012). Casi todos los compuestos activos son aminopurinas sustituidas en N⁶, como la benciladenina (BA).

Las Cqs naturales se presentan en cuatro formas principales: 1) los nucleótidos, que se producen durante la biosíntesis *de novo* y luego se convierten a otros derivados; 2) las bases libres, que son consideradas como las de mayor actividad; 3) los ribósidos, que son la conformación de transporte predominante, y 4) los glucósidos, que son formas inactivadas o de almacenamiento. El crecimiento de brotes apicales produce auxinas que se transportan de forma basipetala e inhiben brotación lateral. Por otro lado, en los ápices de crecimiento de la raíz se sintetizan las Cqs, que inducen la brotación que permanece inhibida.

Una señal desde el brote regula el transporte de ribósidos de zeatina (ZR) desde la raíz. En la savia xilemática las Cqs se transportan como ZR y al llegar a las hojas se transforman en bases libres o glucósidos, que frecuentemente no tienen actividad hormonal luego de que se forman dentro de las células, posiblemente debido a que son compartimentados de tal manera que no están disponibles. Las Cqs endógenas pueden regular negativamente elongación de las raíces (Taiz & Zeiger, 2002).

Las Cqs naturales y las suministradas exógenamente son rápidamente metabolizadas por los tejidos vegetales (Dwivedi et al., 2010; Taiz & Zeiger, 2002), formando bases libres o sus respectivos nucleósidos, que pueden ser ribósidos, donde un azúcar ribosa está unido al nitrógeno 9 del anillo de purina, o pueden ser ribósido-fosfatos, donde un azúcar ribosa contiene un grupo fosfato (Azcón-Bieto & Talón, 2003). Los nucleósidos son compuestos formados por α -ribosa, ácido fosfórico y adenina N⁶-sustituida (Van Staden, Zazimalova, & George, 2008).

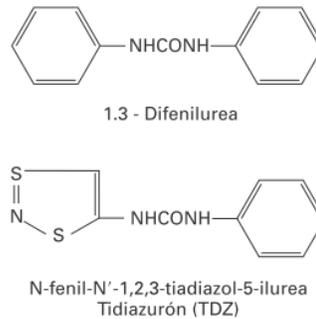
Las Cqs vegetales más abundantes son isopenteniladenina (iP) y sus derivados hidroxilados *trans*-zeatina (*tZ*) y *cis*-zeatina (*cZ*) (Figura 2). Las de tipo *tZ* predominan en la savia del xilema, transportándose a largas distancias, mientras que tipo iP predominan en el floema, en los exudados de las hojas. Esto sugiere que las de tipo *tZ* se transportan

principalmente de la raíz a los brotes y las de tipo iP se transportan principalmente desde de órganos fuente a órganos vertederos, en hojas jóvenes y raíces, produciéndose nuevas Cqs (Dieleman, 1998; Matsumoto-Kitano et al., 2008).

En las yemas inferiores de la planta de rosa, en donde se presenta la renovación de la estructura de la planta, predominan las formas Z y ZR, las cuales son formas sintetizadas en la raíz, a partir de DHZR. Se acumulan en zonas bajas de la planta y se detectan en gran cantidad al ser medidas en la savia de plantas jóvenes (Taiz & Zeiger, 2002).

La concentración de ZR en la savia exudada ha demostrado correlación con la brotación de las yemas axilares y brotes inferiores, aumentando antes de darse la brotación y disminuyendo después. Esto sugiere una relación cuantitativa entre la exportación de Cqs de las raíces y el desarrollo de los brotes (Dieleman, 1998). Después de la aparición de crecimiento de los brotes axilares, el contenido de Cqs disminuye en gran medida. Estos resultados indican un papel de las Cqs en el crecimiento de la yema axilar y presumiblemente las Cqs activas son ZRMP, ZR, y Z en plantas de rosa miniatura (Bredmose, Kristiansen, Nørbæk, Christensen, & Hansen-Møller, 2005). Las conjugaciones Z y ZR cambian a iP e isopentenil adenosina (iPA) para su almacenamiento inactivo como conjugados glucosídicos en partes distales de los tallos de rosa (Zieslin & Algom, 2004). Las Cqs implicadas en el retraso de la senescencia son principalmente ZR y DHZR, las cuales pueden ser transportadas desde las raíces a las hojas a través del xilema, en función de la corriente de transpiración (Nooden, Singh, & Letham, 1999).

Existen compuestos sintéticos de Cq que no han sido identificados en las plantas como la difenilurea que aunque fue aislada de la leche de coco, no se ha encontrado en otra parte (Azcón-Bieto & Talón, 2003). Existen sustancias con acción citoquinínica de tipo fenilurea como el TDZ (TDZ) (Figura 4), que se utiliza como un defoliante y herbicida, y cuyos resultados reportados apoyan la opinión de que la Cq fenilurea posee mayor actividad comparada con Cqs de tipo purinas (Karanov et al., 1992).

Figura 4. Estructura de fenilureas con actividad citoquinínica.

Fuente: Azcón-Bieto y Talón (2013)

2.1.1 Señalización

Estudios genéticos moleculares en *Arabidopsis thaliana* han revelado que la señalización de las Cqs en dicotiledóneas es similar al sistema de transducción de señales de dos componentes de fosfotransferencia en bacterias (Cheng & Kieber, 2014). El sitio principal de la percepción de la Cqs es en el lumen del retículo endoplasmático (Kieber & Schallerb, 2014). Las Cqs actúan como una señal local a células vecinas en tejidos meristemáticos (en el caso de dominancia apical y senescencia foliar) y como señales distantes, por ejemplo para la señalización en la disponibilidad de nutrientes (Frébort et al., 2011). Se requieren de los genes LOG para mantener la actividad del meristemo; su pérdida de función causa terminación prematura del meristemo del brote. La interrupción de los genes LOG conduce a un retraso del crecimiento del brote y la raíz, consecuentemente a defectos en el mantenimiento de los meristemos apicales (Kieber & Schallerb, 2014). Así, este gen codifica la enzima activadora de las Cqs que funciona en la etapa final de bioactivación de la síntesis de Cqs. En trabajos realizados con TDZ, una Cq fenilurea artificial, se confirmó que el receptor de CRE1 / AHK4 utiliza el mismo sitio de la unión para ambos tipos de citoquininas: N⁶-adenina o derivados de fenilurea (Steklov, Lomin, Osolodkin, & Romanov, 2013).

En la superficie de la célula existen receptores (ligandos). Una proteína en la membrana del plasma se une directamente al ligando o a una proteína soluble que ya ha sido atada por el ligando en el espacio periplásmico entre la membrana del plasma y la pared celular. Durante la unión, la membrana de la proteína genera un cambio que es transmitido a través de la membrana al dominio en el citosol de la proteína receptora. Este cambio conformacional inicia la vía de señalización que orienta la respuesta. Los

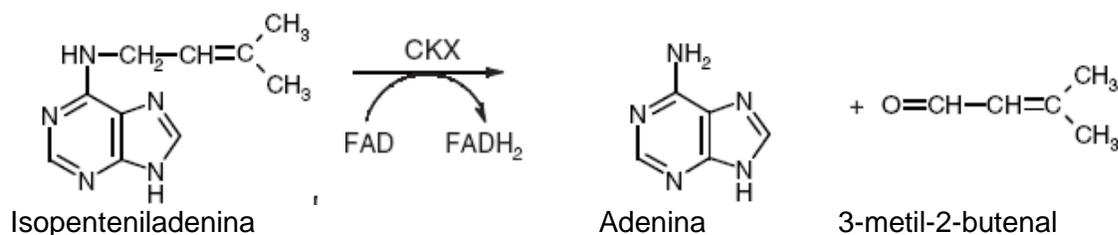
sistemas regulatorios de dos componentes los constituyen una proteína sensor y una proteína reguladora de respuesta. Las Cqs son percibidas por tres histidina kinasas: 1) CRE1 (Cytokinin Response), 2) WOL (wooden leg), 3) AHK4, AHK2 y AHK3 (arabidopsis histidina kinasa) que inician fosfotransferencia intracelular (Mazid, Khan, & Mohammad, 2011).

2.1.2 Degradación e inactivación de citoquininas

La homeostasis o regulación de las Cqs en los tejidos de muchas plantas superiores e inferiores es controlada por la actividad de la enzima citoquinina oxidasa/deshidrogenasa (CKX), que cataliza el rompimiento en la cadena del lado N⁶ de Cqs (Figura 5) (Mazid et al., 2011).

La CKX inactiva irreversiblemente las Cqs, y podría ser importante en la regulación o limitación de los efectos de la fitohormona. La enzima CKX rompe la cadena lateral de la Z, ZR, iP y sus N-glucósidos, pero no sus derivados O-glucósidos. Sin embargo, DHZ y sus conjugados son resistentes a dicha ruptura.

Figura 5. Reacción catalizada por la enzima citoquinina oxidasa/deshidrogenasa.



Fuente: Taiz y Zeiger (2002).

La actividad de la enzima CKX es inducida por altas concentraciones de Cqs. Las bases libres y quizás también los ribósidos, ribótidos y O-glucósidos son activos, mientras que los N-glucósidos y alaninas se consideran inactivos (Dieleman et al., 1998). Los conjugados de Cqs son inactivos, sirven como estructuras de almacenamiento y transporte y son resistentes a la degradación por la CKX. La N-glucosilación es la vía de desactivación dominante (Dwivedi et al., 2010).

Una proporción importante (entre 40 y 80%) de la BA y la kinetina suministrada a tejidos vegetales es degradada por eliminación de la cadena lateral (Azcón-Bieto & Talón, 2003). Los niveles de Cq activa en una célula pueden disminuir por conjugación y rompimiento irreversible de la glucosa por la enzima CKX.

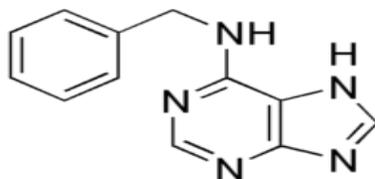
El grupo hidroxilo de la cadena lateral de algunas Cqs también es el objetivo para la conjugación con residuos de glucosa, o en algunos casos con residuos de xilosa, produciendo Cqs O-glucósidas y O-xilosidas. Las Cqs O-glucósidas son resistentes al rompimiento por parte de la enzima CKX, teniendo una mayor actividad biológica, comparadas con sus bases libres correspondientes.

El aumento de las concentraciones de Cqs a través de aplicaciones exógenas a plantas resulta generalmente ineficaz debido a la regulación en la planta por homeostasis de estas a través de la CKX (Wilkinson, Kudoyarova, Veselov, Arkhipova, & Davies, 2012). La auxina puede regular los niveles de Cq sobre regulando la expresión de la CKX (Malgorzata, Domagalska, & Leyser, 2011). Las Cqs incrementan los niveles de auxinas al inhibir la conjugación del ácido indolacético libre, mientras que las auxinas disminuyen la concentración de Cq activa al promover la formación de N- glucósidos o la activación de CKX. La manipulación o aplicación exógena de Cqs causa incrementos en la concentración de auxinas endógenas (Azcón-Bieto & Talón, 2003). Varias especies de plantas, incluyendo *Arabidopsis*, muestran la formación de 7- y 9-glucósidos cuando se suministra exógenamente BA durante largos períodos de tiempo (Dwivedi et al., 2010).

2.2 Bencil aminopurina (BAP)

El 6- bencil amino purina y sus derivados son sustancias activas fácilmente disponibles que estimulan el crecimiento y metabolismo en plantas; también se utilizan comúnmente en biotecnología de plantas y en la micropropagación (Figura 6). El producto comercial es difícil de disolver en agua (hasta 60 mg.L⁻¹), y también en otros disolventes orgánicos. Es soluble en etanol caliente, ácido diluido y agua alcalina y es ligeramente soluble en agua caliente (Fertichem, 2017).

Figura 6. Estructura química de bencil amino purina.

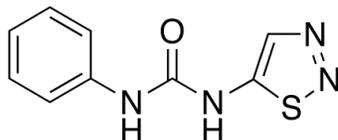


Fuente: Taiz y Zeiger (2002)

El BAP es un ejemplo de una amino purina sintética N⁶ -sustituida como la kinetina (Mazid et al., 2011). Se utiliza para promover la brotación lateral en numerosas especies (Koprna, De Diego, Dundáková, & Spíchal, 2016), ya que induce la división celular, incrementa el contenido de clorofila, aumenta la actividad fotosintética, participa en la quiebra de dominancia apical y retrasa la senescencia (Davies, 1995; Cárdenas, Álvarez, Barragán, & Rivera, 2010). Es eficiente para incrementar la brotación en yemas vegetativas de manzano (Dayatilake et al., 2011). En cactus de pascua (planta ornamental de maceta) se incrementó el número total de yemas florales por planta y el peso seco de los tejidos florales (Alvarado, Rodríguez, Calderón, Zavala, & Cárdenas, 2000; Boyle, 1995). En cultivares de plátano, la BAP ha sido probada para inducir la multiplicación de brotes, estimular el crecimiento de yemas axilares y adventicias, y el desarrollo foliar en cultivo de tejidos (Jafari & Othman, 2011; Kunikowska et al., 2013). Se han utilizado concentraciones de 500 a 3.000 mg.L⁻¹ para inducir brotación basal en *Hosta*, y de 300 a 600 mg.L⁻¹ para aumentar ramificación basal en *Echinacea* (Asteracea) (Latimer & Whipker, 2012).

2.3 Tiazurón (TDZ)

El 1-fenil-3-(1, 2, 3-tiazol-5-il) urea se considera poco persistente, su vida media en el suelo es de 26 a 144 días en condiciones aerobias, y de 28 días en condiciones anaerobias. Se usa como regulador del crecimiento en ciruelo, durazno, manzano, nogal, vid y zarzamora. También se utiliza como defoliante del algodón para facilitar su cosecha mecánica. Es un producto cuyo nivel de toxicidad es muy bajo (LD₅₀ = 4.000 mg.kg⁻¹) (Figura 7).

Figura 7 Estructura química del Tiazurón.

Fuente: Taiz y Zeiger (2002)

Es un regulador del crecimiento vegetal desarrollado por Schering AG en 1976 (actual Bayer Crop Science) como defoliante en algodón. Se ha utilizado para estimular altas tasas de proliferación de brotes axilares en especies de plantas leñosas. Promueve el crecimiento debido a su actividad biológica de una manera similar a la de una Cq N-sustituida o puede inducir la síntesis y acumulación de una Cq endógena (Hu, Hu, Chen, & Yang, 2011). El TDZ es una sustancia con actividad citoquinínica potente, y más efectivo en concentraciones 10 a 1.000 veces menor que otras fitohormonas (Guo, Abbasi, Zeb, Xu, & Wei, 2011).

Las aspersiones de TDZ en vid incrementan el tamaño de bayas así como la firmeza y peso del raquis (Vandepierre, 2011). La aplicación de TDZ (1.000 mg.L^{-1}) a principios de la primavera rompe la latencia y aumenta la brotación de tallos y rizomas de plantas de manzana, y otros cultivos hortícolas (Dayatilake et al., 2011). Se aplican hasta 500 mg.L^{-1} en ciruelo y durazno para aumentar brotación de yemas sustituyendo la acumulación de frío (Calderón y Rodríguez, 1996). La aplicación de TDZ en ciruelo japonés en dosis de 500 mg.L^{-1} acelera la brotación de yemas (Almaguer, Espinosa, Luna, & Paz, 2000). En la zona de La Calera (2.650 msnm) en manzano variedades 'Princesa', 'Golden Delicious' y 'Gala' se aplicaron 50, 100 y 150 mg.L^{-1} de TDZ entre 30 y 45 días después de floración; se obtuvo efecto defoliante, aumento de peso fresco y longitud en el fruto (Benincore, Barbosa, & Fischer, 2000). El TDZ puede ser una alternativa eficiente para la generación de brotes en algunas especies del género *Agave* (Domínguez, Alpuche, Vasco, & Molphe, 2008).

El TDZ se ha usado para la regeneración de plantas en soya y pera, como defoliante en algodón, inductor de raíces en uva y mejorador de cualidades del fruto ($0,4-10 \text{ mg.L}^{-1}$) en kiwi. En ciruelo japonés se probaron dosis entre 250 y 1.000 mg.L^{-1} (Lomeli, 1998). El uso de TDZ en vainilla generó mayor número de brotes laterales, con afectación en el hábito monopódico de la especie (Olivares, 2010). El TDZ en dosis de 100, 200 y 250 mg.L^{-1} y GA_3 en zarzamora aumentó siete veces la producción. Esta concentración también

adelantó en 7, 10 y 15 días la brotación de yemas, la floración y la madurez del fruto en las plantas tratadas, respectivamente, con relación a las plantas testigo (Galindo et al., 2004).

Al aplicar TDZ se observan incrementos en auxinas endógenas, ABA y etileno. Concentraciones de 0,001 a 0,005 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ inducen ZR mientras que concentraciones más altas (0,5 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) están asociadas con iP, que resulta en una rápida división celular y estimulación de organogénesis de brotes. El TDZ es una urea con acción citoquinínica y, por lo tanto, al no ser degradable por la enzima CKX, es persistente en los tejidos vegetales (Guo et al., 2011).

El mecanismo de acción de TDZ está altamente relacionado con la biosíntesis y transporte del ácido indolacético (AIA); por lo que el etileno es un subproducto de la aplicación de TDZ. Este compuesto no causa abscisión foliar directamente, sino como resultado de la respuesta mediada por auxina. La translocación de auxina parece ser vital para la morfogénesis estimulada por la exposición a TDZ. La exposición a TDZ aumenta la acumulación y translocación de auxina dentro de los tejidos. El TDZ funciona en mezcla con aminoácidos como glutamina, caseína y prolina (Guo et al., 2011).

El TDZ tiene una diversidad de efectos fisiológicos en las plantas tratadas, que dependen de la concentración del producto, el tiempo de aplicación, la especie vegetal y la variedad. Esto en función de las condiciones ambientales podría tener impactos sustanciales sobre la respuesta fisiológica de las plantas al producto. Presenta efectos secundarios negativos relacionados con promoción del crecimiento vegetativo, y la reducción del contenido mineral del fruto (Talamini do Amarante, Ernani, Bassay, & Aparecida, 2002).

En los tejidos tratados con TDZ, además de las manifestaciones físicas evidentes de estrés, se encontró acumulación de varios iones minerales y otros metabolitos relacionados con este, incluyendo prolina, ácido abscísico y 4-aminobutirato (Murthy, Murch, & Saxena, 1998). Por tanto, no se recomienda la exposición de las plantas a altas concentraciones de TDZ porque puede causar hiperhidricidad (vitricidad), crecimiento anormal de brotes y dificultad de enraizamiento, eventos que se han encontrado en cultivo de tejidos (Vandepierre, 2011; Yi Lu, 1993).

2.4 Aplicación de citoquininas en rosa

El aumento de la concentración de Cqs induce brotación (Ferguson & Beveridge, 2009). En yemas la concentración de Cqs endógenas es baja debido a que el sitio principal de síntesis son las raíces, por lo que la adición exógena de Cqs induce el desarrollo de yemas laterales (Taiz & Zeiger, 2002). La Cqs son pocos móviles cuando son aplicadas en forma exógena, es decir actúan en el lugar de la aplicación (Avendaño & Pardo, 1992; Azcón-Bieto & Talón, 2003). Así, las yemas axilares inhibidas en plantas de *R. hybrida* L. pueden ser inducidas por aplicación de citoquinina exógena (Ohkawa, 1984).

El efecto de BAP y TDZ (2 mg.L^{-1}) fue evaluado en la formación de brotes provenientes de ápices en rosa en cultivo de tejidos. El TDZ fue la sustancia con actividad citoquinínica más eficaz, estimulando la formación de brotes en el 100% de los explantes tratados, con un promedio de 2,3 brotes por explante.

La magnitud de la producción de flores en plantas de rosa depende de los patrones o portainjertos y de la formación de brotes de renovación a partir de yemas ocultas en la corteza del tejido caloso, en la base de la planta, conocido como “corona”, o a partir de yemas cerca de la base de la planta (Marcelis-van Acker, 1993).

La aplicación de BAP con lanolina en plantas de rosa estimula la brotación de las yemas axilares y de basales (Ohkawa, 1984). La aplicación de BAP a la corona estimuló el número de brotes basales en las variedades Madelon y Vivaldi, lo que sugiere que la producción endógena de Cqs de estos portainjertos no era suficiente para inducir brotes basales (Dieleman et al., 1998).

En un cultivo comercial de rosas, el número de yemas que brotan después de la cosecha de la flor varía de uno a cuatro, también varía el número de hojas que queda en la planta. Como resultado de estas diferencias en el suministro de asimilados, varían la longitud, diámetro y el tiempo transcurrido entre ciclos de producción de tallos florales, dando lugar a la variación en el cultivo (Marcelis-van Acker, 1994).

Con el envejecimiento de la planta se disminuye la calidad de la flor y después de cuatro a siete años es necesario renovar el cultivo, por medio de yemas axilares en la base de la planta. Este brote vigoroso o basal crece y se convierte en un tallo primario. Hoy en día, las Cqs se aplican en cultivos comerciales de rosa. Esta práctica debe ser cuidadosa, teniendo que en cuenta que al momento de aplicar esta hormona se requiere

el suministro de hidratos de carbono, para así garantizar que los brotes basales inferiores crezcan con alta calidad. Gran cantidad de brotes inferiores son de poco valor. Sin embargo, el uso racional de Cqs en un cultivo de rosas puede ser una buena práctica para estimular la brotación, especialmente en cultivares con marcada dominancia apical (Dieleman, 1998).

Existen dos compuestos citoquinínicos activos: los tipos purina y los tipos fenilurea, que, aunque difieren en su estructura tienen una actividad biológica similar. Sin embargo, la diferencia entre estas se debe a la concentración requerida para lograr una respuesta, siendo menor para las del tipo fenilurea. En estudios realizados en especies de la familia Rosacea se ha observado la eficiencia y aumento de la regeneración de brotes mediante el uso de TDZ de hasta ocho brotes por explante (Parismoreno, Gordillo, & Santos, 2016). La respuesta a la aplicación de estos compuestos hormonales depende del cultivar, estadio de desarrollo de la flor y tipo de citoquinina (Hidalgo, Garzón, Flórez, & Herrera, 2012).

Se sugiere romper la epidermis del tejido de la zona basal de la planta de rosa para la aplicación del 6 BAP; técnica denominada método mecánico-químico (Ayala, 2010). En general, la herida consolida el efecto de la aplicación hormonal (Laffitte, Nápoles, Pérez, Peralta, & Trujillo, 2004). Avendaño y Pardo (1992) utilizaron BAP en las variedades de rosa Madame Delbard y Golden Times en concentraciones de 0, 500, 1.000, 1.500 y 2.000 mg.L⁻¹. Evaluaron basales que generaron tallos florales, basales ciegos, basales muertos y calidad comercial de los tallos florales.

En trabajos realizados en laboratorio se estudió el efecto sobre la producción basal y axilar de cuatro concentraciones de BAP (0, 75, 125 y 250 mg.L⁻¹) y Dikegulac-Sodio, DS (0, 250, 500 y 1.000 mg.L⁻¹) aplicados como pulverizaciones al injerto o con espuma basalmente o en la parte superior de un tallo cortado de rosa. En la variedad Honor los brotes axilares aumentaron cuando se aplicó BAP con una espuma al tallo basal. Sin embargo en los cinco cultivares evaluados, la concentración de los productos y la forma de aplicación no promovieron de forma constante la emisión de brotes basales y axilares (Jayroe & Newman, 1995).

En rosa variedad Verdi, la aplicación de BAP a 2.000 mg.L⁻¹ estimuló el crecimiento induciendo brotación en un 82 % y reduciendo en 11 días el periodo productivo, sin afectar la calidad. Es necesaria la aplicación de concentraciones entre 1.000 y 7.000 mg.L⁻¹ de BAP para romper la dominancia apical (Cárdenas, 2006).

Con el fin de estimular la brotación de tallos basales en plantas de rosa var. Charlotte que no habían alcanzado los dos basales, se aplicó en la zona del injerto 6-BAP, en concentración de 10.000 mg.L⁻¹ (Flórez et al., 2006). En la variedad Freedom se midió el efecto de la aplicación de BAP y se observó que con la dosis cercana a 9.950 mg.L⁻¹ se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a número de basales, sin realizar la ponderación con la longitud del tallo (Martínez, 2010).

2.5 Brotación y ramificación

Para maximizar los rendimientos es necesario un balance apropiado de brotes vegetativos, los cuales pueden ser forzados con el uso de promotores de brotación que generan cambios fisiológicos relacionados con la calidad del órgano a cosechar (Canales, 2008).

La habilidad de una planta para producir brotes basales disminuye con la edad y por eso los cultivadores de rosas reemplazan las plantas cada cuatro a seis años. Esta sustitución de plantas es costosa, por lo que se requiere buscar un regulador de crecimiento y un método de aplicación que produzca nuevos brotes basales y axilares (Jayroe & Newman, 1995).

Los brotes de renovación son los que se originan en la yema más baja del tallo de la variedad injertado al patrón y los brotes axilares son los que se originan a partir de yemas en las axilas de las hojas de los tallos de la variedad. En la base de los tallos principales ocurre la renovación al surgir uno o más brotes vigorosos, llamados brotes basales inferiores que forman la estructura de la planta de rosa y determinan su rendimiento futuro (De Vries y Dubois, 1983; Zieslin & Algom, 2004).

La síntesis y acción de fitohormonas son influenciadas por el medio ambiente. Estas juegan un papel importante en la regulación del desarrollo de las plantas superiores; por ejemplo, al afectar las relaciones fuente – vertedero (Engels et al., 2012). El nivel de radiación percibido por un brote en combinación con el número de los vertederos de la

competencia, influye en el número total de brotes por tallo, por planta o por metro cuadrado (Buck-Sorlin et al., 2011).

Las Cqs intervienen en la iniciación del desarrollo de brotes laterales. Con aplicaciones de estas sustancias a las yemas axilares se estimula la actividad de división celular y consecuente crecimiento de la brotación (Taiz & Zeiger, 2002), con lo cual se generan plantas arbustivas, como el rosal. Se considera que el crecimiento de la yema depende de la proporción de hormonas (relación auxina/citoquinina) más que del nivel absoluto de cada una de ellas (Cárdenas et al., 2010).

La concentración de Cqs endógenas es baja en las yemas, debido a que su sitio principal de síntesis son las raíces, por lo que adición de Cqs fomenta el crecimiento de las yemas laterales (Taiz & Zeiger, 2002). Los reguladores de crecimiento están implicados en la translocación de asimilados en la planta. Cuando se aplica un tratamiento con Cqs, los aminoácidos y otros elementos nutritivos se ven atraídos hacia la parte tratada. Cada regulador de crecimiento puede actuar de manera diferente sobre la relación fuente – demanda (Olivares, 2010).

Adicionalmente a la aplicación de Cqs, el número de basales puede ser estimulado mediante el “despunte”, en razón a que al cortar el meristemo apical se aumenta la cantidad de Cqs en el fluido xilemático (Azcón-Bieto & Talón, 2003). Otras formas de inducir brotación son el uso de alta concentración de CO₂, bajas temperaturas, alta humedad, alta intensidad de luz y la aplicación de etileno (Canales, 2008; Khayat & Zieslin, 1982). Igualmente, la estimulación mecánica (agobio) es un método alternativo para reemplazar los reguladores químicos que buscan incrementar brotación (Crespel, Galopinc, & Mouliad, 2005).

Técnicas como esta, buscan mejorar la calidad de los tallos basales y disminuir la dominancia apical del patrón, lo que favorece la entrada de luz a la base de la planta y estimula la brotación (García, 2015). El agobio consiste en inclinar el tallo floral, previamente descabezado en un punto de botón floral pequeño, con el cuidado de doblarlo hacia abajo, sin quebrarlo; se realiza en los primeros meses luego de la siembra, y debe mantenerse frecuentemente. Los brotes nuevos que emergen por esta labor deben dejarse en la planta. La cantidad de hojas es un factor determinante para la

producción y, por esta razón, dicha labor es importante ya que permite aumentar el área foliar. Por tanto, esta práctica se aconseja sobre todo en variedades que presenten baja masa foliar. Los tallos doblados son una fuente de carbohidratos para la planta. Otra práctica para la inducción de brotación, la constituyen las podas (Avendaño & Pardo 1992). Adicionalmente, se han implementado aplicaciones de BAP en la zona de corte de los tallos florales, con el fin de adelantar la brotación y acelerar el ciclo de producción hasta en un 14% (Cárdenas, 2006). Se considera que una yema ha brotado cuando tiene una longitud de 10 mm y está en crecimiento constante.

Uno de los principales criterios para la arquitectura y calidad visual de una planta ornamental es su forma, que debe ser compacta y ramificada y es el resultado de la organización espacial de sus ejes de crecimiento. Estos ejes son generados por la brotación (Crespel, Sigogne, Done`s, Relion, & Morel, 2013). Brotes en buen estado de desarrollo pueden ser inducidos a crecer mediante la aplicación de Cqs, en función de su concentración, o a través de métodos transgénicos (Van Staden et al., 2008). El aumento de la concentración de Cqs estimula la actividad de señalización y el tamaño y la actividad de meristemas (Hang et al., 2014).

En algunas especies como el cacao, el albaricoque y la guayaba se ha encontrado que el efecto de las Cqs es diferente de acuerdo con la concentración. Por ejemplo, en cacao el testigo y el tratamiento con BAP en dosis de 5 mg.L⁻¹, que era la concentración más baja, presentaron los menores diámetros del injerto. La aplicación de 10 mg.L⁻¹ de BAP mejoró las yemas de cacao en cuanto al diámetro y la longitud del injerto, y la concentración de 15 mg.L⁻¹ promovió el aumento en el número de hojas, el área foliar total y la masa seca y fresca del injerto (Cárdenas et al., 2010).

En albaricoque, los explantes correspondientes a las primeras cuatro hojas apicales producen los mejores resultados, que superan en el doble el porcentaje de regeneración de las hojas viejas, (Pérez-Tornero, Egea, Vanoostende, & Burgos, 2000). Algo similar ocurre en la regeneración de brotes de *Platanus acerifolia* Willd, donde los brotes se originan principalmente a partir de callos formados alrededor de heridas en los extremos cortados del pecíolo, y a lo largo de los cortes transversales de la nervadura central (Liu & Bao, 2003). En guayaba, la principal actividad de la brotación está siempre asociada a las zonas donde se produjo una herida, corroborando que la herida juega un papel

fundamental en la respuesta morfogénica *in vitro* de las plantas superiores (Laffitte et al., 2004).

Los brotes basales pueden ramificarse, así resulta un racimo de yemas axilares en la base de la planta. Estos brotes también tienen el potencial de crecer como un tallo basal, por lo que el número de yemas axilares basales es importante en la formación de la arquitectura de la planta (Marcelis-van Acker, 1994). Las Cqs promueven la complejidad en una inflorescencia que se ramifica reiterativamente. Al manipular la concentración de Cqs directa o indirectamente en los cultivos, se espera inducir o afectar la ramificación para aumentar el rendimiento (Hang et al., 2014).

En el caso de la rosa y otras plantas ornamentales es importante controlar su brotación, crecimiento y ramificación. La producción de nuevas ramas depende de la primera brotación en la formación de la planta y pueden permanentemente modificar la forma y la calidad visual y productiva de la planta.

El método más usado para estimular la ramificación es la aplicación de reguladores del crecimiento vegetal (Huché-Thélier et al., 2011; Morel et al., 2012). La aspersión de Cqs se ha utilizado para mejorar ramificación en árboles jóvenes que ofrecen la oportunidad de obtener una buena arquitectura de árbol en el futuro (Koprna et al. Spíchal, 2016), así la ramificación de brotes es determinada por la brotación de las yemas axilares que está regulada por factores endógenos y ambientales, siendo el más importante, el hormonal (Yaish, Guevara, Kereamy, & Rothstein, 2010).

2.6 Modelo de crecimiento e índices fisiológicos

En trabajos con rosa variedad Verdi se observó una curva de crecimiento tipo sigmoideal y un ciclo del cultivo cercano a 80 días (Cárdenas, 2006; González, Sánchez, Flórez, & Chaves, 2013); en la variedad de rosa Charlotte se encontraron ajustes al modelo logístico en el crecimiento del área foliar y la masa seca.

En el manejo agronómico de los cultivos, las curvas de crecimiento permiten conocer la forma como se comporta una planta en función del tiempo y su entorno, así, la obtención de este tipo de información es necesaria para el diseño de estrategias que permitan describir el comportamiento agronómico y fisiológico de un cultivo (Moreno-Medina,

Casierra-Posada, & Blankle, 2016). En el modelo de crecimiento logístico, que es una refinación del modelo exponencial, el incremento progresivo de la población tiende a producir una reducción o agotamiento de los recursos, por tanto, las tasas de crecimiento disminuyen. Poblaciones pequeñas tienen mayor velocidad de crecimiento, dada la mayor disponibilidad de recursos y en dicho caso el modelo es inicialmente exponencial.

El análisis de crecimiento puede ser entendido en términos del incremento de la masa seca total de la planta y su distribución entre sus órganos tanto en la parte aérea como en la subterránea (Moreno, Mogollón, Núñez, Villota, & Torres, 2013). Para la comprobación del ajuste del crecimiento al modelo logístico es necesaria la cuantificación del material vegetal en cuanto a longitud, masa fresca, masa seca y área foliar, en intervalos de tiempo sucesivos y en lo posible equidistantes. Con esta información también se calculan índices y tasas fisiológicos como la tasa absoluta de crecimiento (**TAC**), la tasa relativa de crecimiento (**TRC**), el índice de área foliar (**IAF**), el área foliar específica (**AFE**), la relación de área foliar (**RAF**), la masa foliar específica (**MFE**) y la tasa de asimilación neta (**TAN**), que se obtienen por cálculos del análisis funcional (Flórez et al., 2006).

La **TAC** se considera como una medida de la fuerza de la demanda fisiológica. Sus unidades son $g \cdot g^{-1} \cdot sem^{-1}$.

La **TRC** es una tasa de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de incremento del tamaño por unidad de tamaño y tiempo. Permite realizar comparaciones equitativas. Es un índice de eficiencia de la planta como productora de nuevo material. Mide el incremento en la biomasa por unidad de masa vegetal presente; es decir, permite estimar la ganancia de carbono por unidad de área foliar y unidad de tiempo. Es considerada como un indicador de la actividad de la demanda fisiológica o velocidad con la que se acumula carbono en la planta. La TRC disminuye cronológicamente, pero aumenta linealmente al aumentar la radiación fotosintética incidente y con altas temperaturas esta variable es inicialmente alta, hasta un límite en el que declina rápidamente.

El **IAF** representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo ocupada por el cultivo. El desarrollo de área foliar a nivel de toda la planta también depende de la tasa de desarrollo de las hojas, el macollaje y la formación de ramas axilares. El IAF óptimo es aquel que soporta la máxima tasa de masa seca y se consigue

cuando el cultivo intercepta toda la radiación fotosintética activa (RFA) disponible (Clavijo, 1989).

La masa foliar específica (**MFE**) expresa la frondosidad de la planta con base en la masa seca. Es una medida de la inversión productiva de la planta. Se refiere a la cantidad de biomasa total que la planta asigna hacia las hojas. Es un índice de la superficie foliar de la planta con base en la masa seca. Se define como la fracción de masa seca total que corresponde a las hojas y su valor oscila entre 0 y 1 (Flórez et al., 2006).

El **AFE** se obtiene al dividir el área foliar entre la biomasa de las hojas. Es una medida de la superficie foliar y su relación con la masa. Se refiere a la distribución y asignación de asimilados. Es la cantidad de área foliar por biomasa seca foliar de la planta. Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja. Se define como la relación entre el área total de la hoja y la masa del área foliar de la planta (Flórez et al., 2006). El contenido de nitrógeno disminuye durante el crecimiento y presenta alta correlación con la acumulación de masa seca. Alta AFE incrementa la apetencia y fragilidad de las hojas. Hojas con menor AFE aumentan su lignificación, bajan humedad y disminuyen nitrógeno.

La relación masa foliar (**RMF**) es un índice morfológico de la frondosidad de la planta. Es una medida del balance de pagos entre ingresos y gastos de acuerdo con los componentes de la fotosíntesis y respiración potencial. Su unidad de medida es $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

La relación área foliar (**RAF**) equivale la cantidad de área foliar dividida por la masa seca total de la planta. Este valor representa la eficiencia de un área de la hoja en particular.

La **TAN** permite cuantificar la fotosíntesis laminar; es la producción de masa seca elaborada por la planta determinada fundamentalmente por la fotosíntesis y la respiración. Generalmente mide el incremento de biomasa por unidad de área foliar y unidad de tiempo. Expresa el balance neto entre ganancias por fotosíntesis y pérdidas por respiración. Es un estimador de eficiencia fotosintética de la planta. También puede considerarse como una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta o del canopi de un cultivo; es decir, es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; esta no es constante y decrece con la edad de la planta o población.

3. Materiales y métodos

3.1 Condiciones del experimento

El experimento se realizó en la empresa VUELVEN SAS ubicada en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca, al norte de la sabana de Bogotá, a 2606 msnm, con precipitación anual media de 857 mm y promedios de 13°C y 78% de temperatura y humedad relativa, respectivamente.

3.2 Material vegetal

Como material vegetal se emplearon plantas de rosa de la variedad Freedom, de color rojo, injertadas sobre el portainjerto Natal briar, y sembradas a una densidad de 6,4 plantas/m² de área cubierta. El cultivo fue establecido en el mes de abril de 2013 y su primera cosecha se obtuvo en enero del 2014.

3.3 Invernadero y condiciones de clima

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero tradicional en madera, con ventilación lateral (manejo de cortinas) y cenital pasivas. Esta estructura estaba cubierta con polietileno calibre 7, provisto de filtro UV. El área utilizada fue de ocho naves, considerando ocho camas por nave, para un total de 64 camas; cada una de 37 x 1 m, con 0,5 m de camino. Aleatoriamente se seleccionaron ocho camas para la aplicación de los tratamientos. La temperatura en el invernadero osciló entre 5 y 37 °C, y la humedad relativa máxima entre 83 y 87%, conforme se muestra en la Figura 8A.

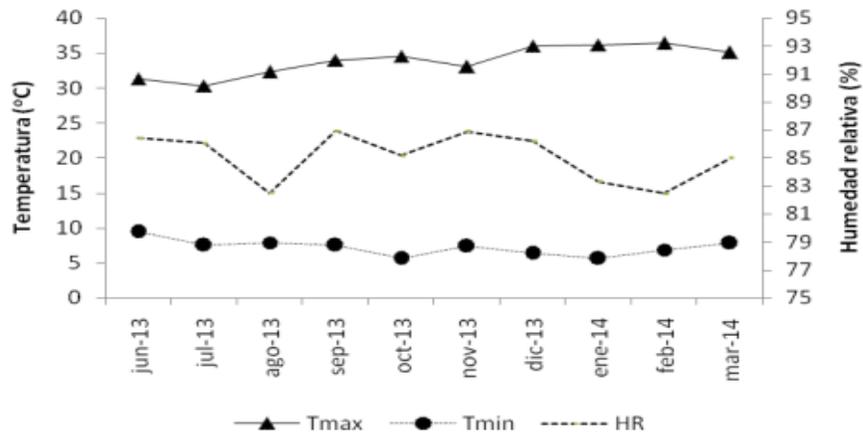
3.4 Fertilización y riego

La solución nutritiva utilizada para el suministro del fertirriego fue elaborada por Brenntag Colombia S.A. y aportó las siguientes concentraciones (mg.L⁻¹) de elementos minerales: 150N, 30P, 60K, 120Ca, 30Mg, 30S, 2Mn y 0,05Mo.

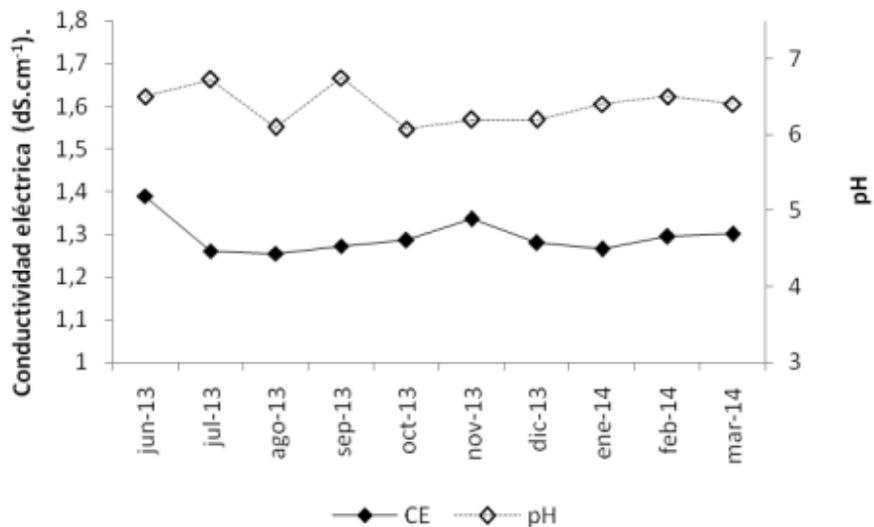
Otros nutrientes fueron aportados en función de su contenido presente en el suelo y medidos por análisis periódicos de suelos. La CE y el pH se registraron semanalmente, entre junio del 2013 y enero del 2014. La CE fluctuó entre 1,2 y 1,4 dS.cm⁻¹ y el pH entre 6,0 y 7,0, valores adecuados para una producción comercial de rosa (Figura 8B).

Figura 8. Comportamiento de variables climáticas y edáficas durante el periodo de evaluación de la emisión de tallos basales en plantas de rosa variedad Freedom, en una finca al norte de la sabana de Bogotá. **A.** Temperatura y humedad relativa, **B.** CE y pH del suelo.

A



B



Fuente: Resultados del experimento

3.5 Manejo de plantas

Las decisiones agronómicas relacionadas con el riego, la fertilización y las aspersiones para el control de plagas y enfermedades se realizaron de acuerdo con las prácticas habituales implementadas por la empresa. Para el manejo de las plantas se realizaron labores culturales tradicionales que incluyeron control manual de malezas, descabece, desbrote, pinch, desbotone, desenrede, enmalle y corte.

3.6 Modelo de crecimiento, tasas e índices fisiológicos

3.6.1 Modelo Logístico

Los datos se ajustaron conforme descrito en Flórez et al. (2006), a las siguientes ecuaciones del modelo logístico:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{k}{\alpha} y(\alpha - y)$$

Donde $k > 0$ y $0 < y < \alpha$. Se usa k/α como constante de proporcionalidad debido a que los parámetros se pueden interpretar separadamente. La curva de crecimiento es la siguiente:

$$y = \frac{\alpha}{1 + e^{-k(t-y)}}$$

Donde α , la asíntota superior, es el máximo tamaño, es decir, $y = \alpha$ cuando $t \rightarrow \infty$, $y = 0$ cuando $x \rightarrow -\infty$ siendo una asíntota inferior; y es el tiempo en que se logra la máxima tasa de crecimiento ($W_m = k\alpha/4$) o punto de inflexión, en este punto, $y = \alpha/2$, y la función es una curva simétrica sigmoideal

3.6.2 Tasa e índices de crecimiento

Con la información obtenida en campo el crecimiento se determinó mediante medidas directas (altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y masa seca) e indirectas, a través del cálculo de los siguientes índices y tasas fisiológicos: tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), relación de área foliar (RAF), masa foliar específica (MFE) y tasa de asimilación neta (TAN); los cuales se obtienen por cálculos del análisis funcional (Hunt, 1979; Hunt et al. 2002; Flórez et al., 2006).

3.7 Diseño experimental

Se distribuyeron 13 tratamientos en total, obtenidos de la combinación 2 x 3 x 2 y el testigo y en los cuales se evaluaron dos reguladores de crecimiento a tres concentraciones cada uno y dos formas de aplicación, comparados con un testigo sin tratar. Se asignaron bloques de tratamientos considerando “el efecto borde” previendo la posibilidad de ocurrencia de heladas en diciembre del 2013 y enero 2014, que podrían afectar los tratamientos ubicados en los bordes.

Para el ensayo se destinaron ocho camas de cultivo y en cada una de ellas se conformó un bloque con 360 plantas, dentro del cual se aleatorizaron 13 tratamientos en unidades experimentales de 25 plantas, para un total de 2.600 plantas. Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente con ayuda del software estadístico R.

3.7.1 Tratamientos

Se evaluaron soluciones de bencil amino purina a concentraciones de 2.000, 5.000 y 10.000 mg.L⁻¹ y de tidiazurón a concentraciones de 1.000, 2.500 y 5.000 mg. L⁻¹, conforme se muestra en la Tabla 1.

Para tratamientos con herida en la epidermis de la base o corona de las plantas se rayó con una hoja de segueta metálica impregnada con la solución hormonada (Figura 9A). Los tratamientos sin herida se aplicaron con una espuma sin causar daño (Figura 9B).

El 6 BAP se diluyó en KOH al 10% y el TDZ en agua, completando los volúmenes requeridos. La aplicación de los tratamientos se realizó el 30 de agosto del 2013.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la emisión de basales y producción en plantas de rosa variedad Freedom, en una finca al norte de la sabana de Bogotá.

Tratamiento		Concentración (mg L ⁻¹)	Aplicación
TEST	Testigo		
BAP 2 H	BAP	2.000	Con herida
BAP 2 SH			Sin herida
BAP 5 H		5.000	Con herida
BAP 5 SH			Sin herida
BAP 10 H		10.000	Con herida
BAP 10 SH			Sin herida
TDZ 1 H	TDZ	1.000	Con herida
TDZ 1 SH			Sin herida
TDZ 2.5 H		2.500	Con herida
TDZ 2.5 SH			Sin herida
TDZ 5 H		5.000	Con herida
TDZ 5 SH			Sin herida

BAP: Bencil amino purina, **TDZ:** Tidiazurón, **H:** Aplicación con herida, **SH:** Aplicación sin herida.

Fuente: Resultado de la investigación

Figura 9. Forma de aplicación de los tratamientos sobre la corona de las plantas de rosa variedad Freedom. **A.** Aplicación con segueta rayando (herida) la corona de las plantas, **B.** Aplicación con espuma.



A



B

Fuente: Fotografía de archivo personal.

3.7.2 Muestreo y registro de información

A partir de la semana 35 del 2013 y durante las semanas restantes del año hasta la cosecha, en enero del 2014, se recolectó la información correspondiente a crecimiento de la brotación, número de brotes, calibre de brotes, longitud de primera cosecha y productividad por tratamiento.

Crecimiento de la brotación

En cada unidad experimental se seleccionaron y marcaron aleatoriamente cinco plantas, en las cuales semanalmente se midieron la longitud de los tallos basales durante siete semanas y a los tallos florales de la primera cosecha durante 11 semanas.

Número de brotes

En el momento de la aplicación de los tratamientos se realizó un conteo de los brotes que crecían sin influencia de los tratamientos. Posteriormente, en el momento de la poda (16 de noviembre 2013) se contabilizaron el total de tallos basales programados y se descontaron los brotes inicialmente contabilizados. El número de basales generados se determinó como la diferencia entre los brotes contados el 9 de octubre del 2013 y el número de brotes basales contados en el momento de la aplicación de los tratamientos, el 30 de agosto de 2013, en 200 plantas por tratamiento.

Calibre de brotes

En el momento de la poda (16 de noviembre de 2013, semana 46) se confirmó el calibre de los tallos basales programados. Se midió la altura de los cortes y el número de hojas formadas a esta altura.

A partir de esta fecha, se seleccionaron aleatoriamente cinco plantas en cada unidad experimental, sobre las cuales se midieron las siguientes variables.

Longitud de brotes en la primera cosecha

Semanalmente se midió la longitud de cada uno de los tallos florales de las cinco plantas seleccionadas en cada unidad experimental.

Productividad por tratamiento

Durante el procedimiento del enmalle de los botones florales en los tallos formados, se contabilizaron las flores obtenidas de cada tratamiento. Para verificar el tiempo de cosecha y los ciclos de producción se contabilizaron en dos fechas el número de tallos por tratamiento: 16 de enero del 2014 (semana 3), 60 días después de la poda; y 10 de febrero del 2014 (semana 7), 85 días después de la poda.

Desde el momento de la aplicación de los tratamientos se midió la longitud y diámetro de los tallos basales. Para la cosecha programada desde el 16 de noviembre del 2013, se realizaron mediciones en las fechas: 13 diciembre (Semana 50), 20 diciembre (semana 51), 27 diciembre (semana 52), 3 enero (semana 1), 10 enero (semana 2), 18 enero (semana 3), 24 enero (semana 4), momentos que corresponden a las semanas 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de edad del ciclo de producción de los tallos florales.

A los tallos florales programados sobre basales, se les midió semanalmente y de forma destructiva la masa fresca y seca de tallos, hojas y botones florales y del total del tallo floral, con el uso de una balanza analítica XB 220 A PRESISC (precisión de +/-0,01 g). Esta variable se midió luego de deshidratar el material vegetal en una estufa THERMO SCIENTIFIC (70 °C durante 72 h).

El área foliar se determinó con el acumulador de área foliar LI-COR 3100C, en el laboratorio de fisiología de cultivos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Las flores se clasificaron en el momento del corte con los parámetros comerciales que separaban los tallos de la rosa en tres calidades: flor corta (40 y 50 cm), flor media (60 y 70 cm) y flor larga (≥ 80 cm).

La información obtenida se ajustó a modelos estadísticos de crecimiento, se realizaron los análisis de varianza pertinentes y las pruebas de comparación de medias entre tratamientos que permitieron determinar las curvas de crecimiento, las tasas e índices de eficiencia fisiológica y la información de la calidad comercial de la cosecha.

4. Resultados y discusión

A continuación, se presentan y se discuten los resultados de los parámetros, los índices y las tasas de crecimiento. Se muestra la longitud de los tallos basales, cuyos datos que ajustaron a un modelo de crecimiento logístico. En la longitud de los tallos basales hacia las semanas 5 a 7 se obtuvieron los menores valores a las dosis altas de TDZ (5.000 mg.L^{-1}) con y sin herida al momento de realizar la aplicación. Sin embargo, en las dos últimas semanas las aplicaciones de TDZ 2.500 mg.L^{-1} y BAP 5.000 mg.L^{-1} sin herida fomentan la elongación de los basales. En general, la aplicación de TDZ y BPA realizando la herida en la base del tallo asegura mejor respuesta en la longitud en las primeras semanas.

4.1 Longitud de tallos basales

La medición de la longitud de los brotes basales, al igual que lo observado por Cárdenas (2006), se ajusta a un modelo de crecimiento sigmoideo de tipo logístico, con los parámetros descritos en la Tabla 2. El modelo muestra una mayor longitud de tallos basales para el testigo (102,45 cm) y para los tratamientos de BAP sin herida en dosis de 2.000 mg.L^{-1} (101,93 cm) y de TDZ en dosis de 2.500 mg.L^{-1} (100,36 cm). Las pendientes del crecimiento no son significativamente diferentes y el tiempo para alcanzar la mayor tasa absoluta de crecimiento (TAC) es significativamente más corto para los tratamientos testigo (4,85 sem) y TDZ a 5.000 mg.L^{-1} con herida (4,70 sem).

En la Figura 10A se observa que el tratamiento testigo presenta la mayor longitud durante todo el ciclo, muy cercano el tratamiento BAP 2.000 mg.L^{-1} sin herida. Hacia el final del periodo de formación de los tallos basales las menores longitudes corresponden a los tratamientos con alta dosis de TDZ con y sin herida. Aunque el tratamiento BAP 5.000 mg.L^{-1} presentó una longitud baja en las semanas 1 a 5, al final del periodo evaluado obtuvo la altura promedio de los demás tratamientos.

Tabla 2. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable longitud de tallos basales al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con BAP y TDZ.

Tratamientos			Parámetros					
	Concentración (mg.L ⁻¹)		α		k		Y	
Testigo	0		102,45	a	1,32	a	4,85	a
BAP	2.000	Con herida	87,99	b	1,42	a	4,89	b
		Sin herida	101,93	a	1,31	a	5,16	c
	5.000	Con herida	85,70	b	1,58	a	5,03	c
		Sin herida	98,05	a	1,20	a	5,18	c
	10.000	Con herida	91,59	a	1,28	a	5,13	c
		Sin herida	95,76	a	1,29	a	5,15	c
TDZ	1.000	Con herida	87,82	b	1,32	a	5,00	c
		Sin herida	90,88	b	1,28	a	5,03	c
	2.500	Con herida	86,03	b	1,37	a	4,99	c
		Sin herida	100,36	a	1,14	a	5,28	c
	5.000	Con herida	69,39	c	1,61	a	4,70	a
		Sin herida	79,69	c	1,52	a	4,88	c

BAP: Bencil amino purina; TDZ: Tiazurón. α = Máxima magnitud de la variable; k = Constante que determina la pendiente de la curva; y Y = Momento de mayor tasa de crecimiento en semanas, luego de la aplicación de la hormona.

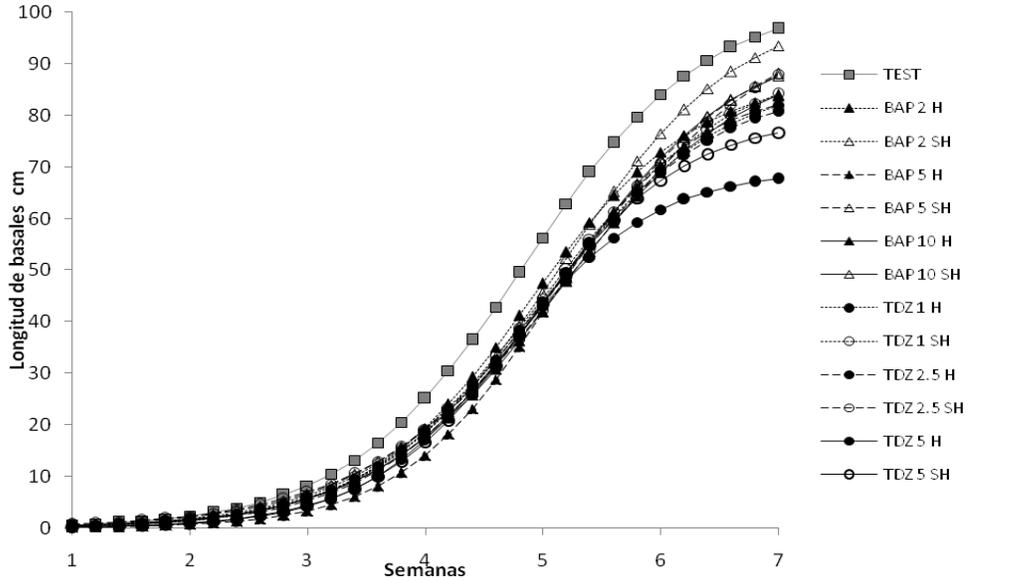
Tratamientos seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas por la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Fuente: Resultado de la investigación

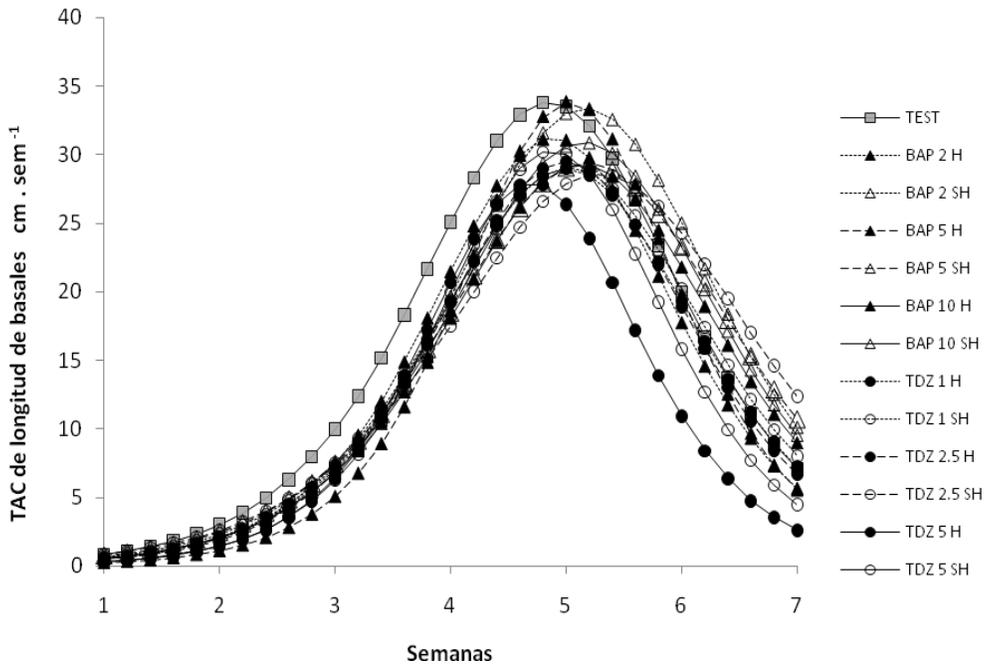
4.1.1 Tasa absoluta de crecimiento

En la Figura 10B se evidencia que el tratamiento testigo crece más que los demás tratamientos hasta la quinta semana, alcanzando su máxima TAC antes. Por otro lado, las dosis altas de TDZ (5.000 mg.L⁻¹) con y sin herida reducen el crecimiento en longitud de los tallos basales a partir de la quinta semana. Sin embargo, durante las últimas semanas, los tratamientos que más se elongan son TDZ 2.500 mg.L⁻¹ y BAP 5.000 mg.L⁻¹ sin herida.

Figura 10. Curvas de crecimiento en **A** y Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en **B** para la variable longitud de tallos basales ajustadas al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencil aminopurina (BAP) y Tidiazuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



A



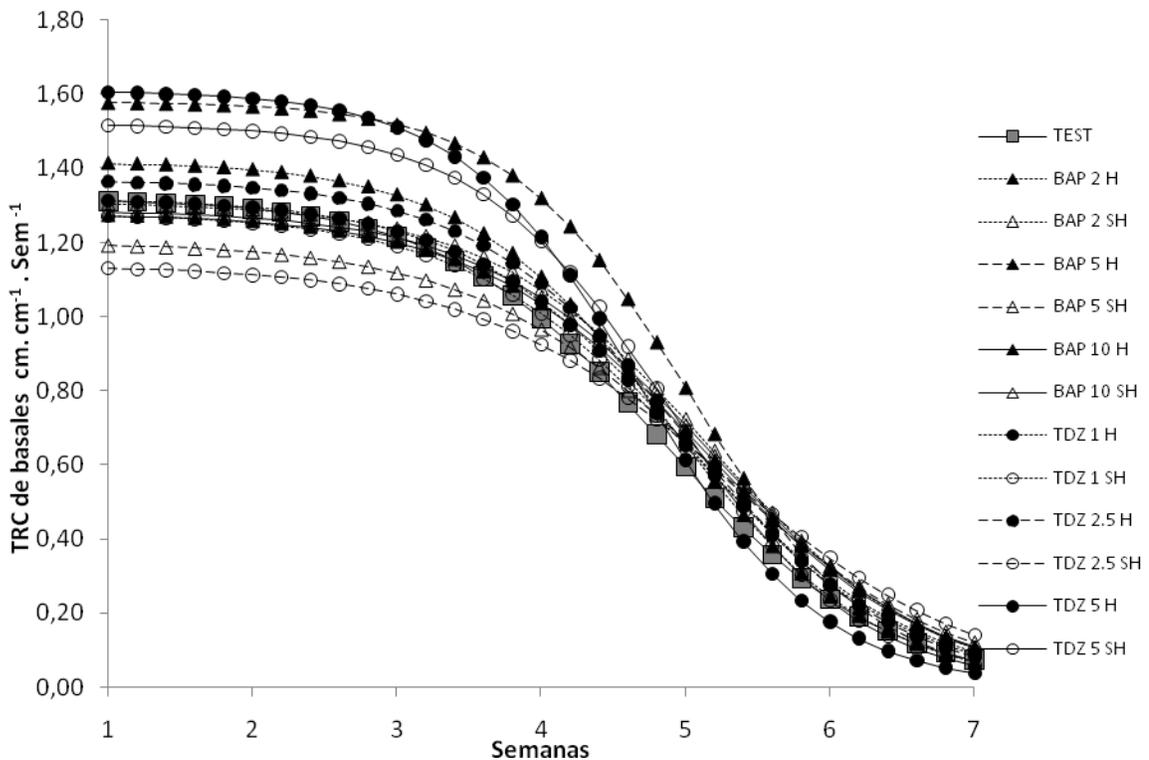
B

Fuente: Resultado de la investigación

4.1.2 Tasa relativa de crecimiento

Si bien el tratamiento TDZ 5.000 mg.L⁻¹ aplicado con herida es el de mayor incremento de longitud en las semanas 1 a 3, termina con los más bajos incrementos en las últimas semanas del periodo evaluado (semanas 5 a 7). Los tratamientos con dosis altas de TDZ con y sin herida así como el tratamiento BAP en dosis de 2.500 mg.L⁻¹ muestran un alargamiento inicial superior. Los tratamientos TDZ 2.500 mg.L⁻¹ y BAP 5.000 mg.L⁻¹ sin herida son los de menor elongación inicial (Figura 11). La aplicación con herida asegura un mayor incremento en la longitud entre las semanas 1 y 4.

Figura 11. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable longitud de tallos basales en plantas de rosa variedad Freedom, tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

4.2 Longitud y tasa absoluta de crecimiento de los tallos florales

Del modelo se obtiene una menor longitud para los tallos florales en los tratamientos testigo (94,4 cm), BAP 2.000 mg.L⁻¹ con herida (93,4 cm), BAP 5.000 mg.L⁻¹ con herida (94,3 cm), BAP 5.000 mg.L⁻¹ sin herida (94,0 cm) y TDZ 5.000 mg.L⁻¹ sin herida (91,7 cm), conforme lo muestra la Tabla 3. Las pendientes del crecimiento para la longitud de los tallos florales no son significativamente diferentes y el momento para alcanzar la mayor TAC es más tardío para el tratamiento testigo y todos los tratamientos sin herida.

Tabla 3. Valores estimados para los parámetros α , k y Y^* en el ajuste de la variable Longitud de tallos florales ajustadas al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con BAP y TDZ.

Tratamientos			Parámetros					
	Concentración (mg.L ⁻¹)		α		k		Y^*	
Testigo	0		94,43	a	0,90	a	3,70	a
BAP	2.000	Con herida	93,41	a	0,90	a	3,68	b
		Sin herida	96,91	c	0,86	a	3,76	a
	5.000	Con herida	94,29	a	0,92	a	3,62	b
		Sin herida	94,01	a	0,87	a	3,73	a
	10.000	Con herida	89,21	b	0,90	a	3,48	b
		Sin herida	102,82	c	0,77	a	4,00	a
TDZ	1.000	Con herida	97,15	c	0,88	a	3,77	a
		Sin herida	98,95	c	0,81	a	3,91	a
	2.500	Con herida	96,27	c	0,90	a	3,61	b
		Sin herida	92,82	c	0,89	a	3,93	a
	5.000	Con herida	99,20	c	0,90	a	3,68	a
		Sin herida	91,65	a	0,91	a	3,83	a

BAP: Bencil amino purina; TDZ: Tidiázurón. α = Máxima magnitud de la variable; k = Constante que determina la pendiente de la curva; y Y^* = Momento de mayor tasa de crecimiento en semanas luego de la aplicación de la hormona. Tratamientos seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas por la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: Resultados del experimento

Como se observa en la Figura 12A, las curvas se sobreponen y no reflejan un efecto de los tratamientos. Sin embargo, los tratamientos de BAP 10.000 mg.L⁻¹ con y sin herida tuvieron el menor y uno de los mayores crecimientos, respectivamente, en la longitud de los tallos florales al final del ciclo. El tratamiento TDZ a 5.000 mg. L⁻¹ con herida presentó la mayor longitud de los tallos florales durante todo el ciclo.

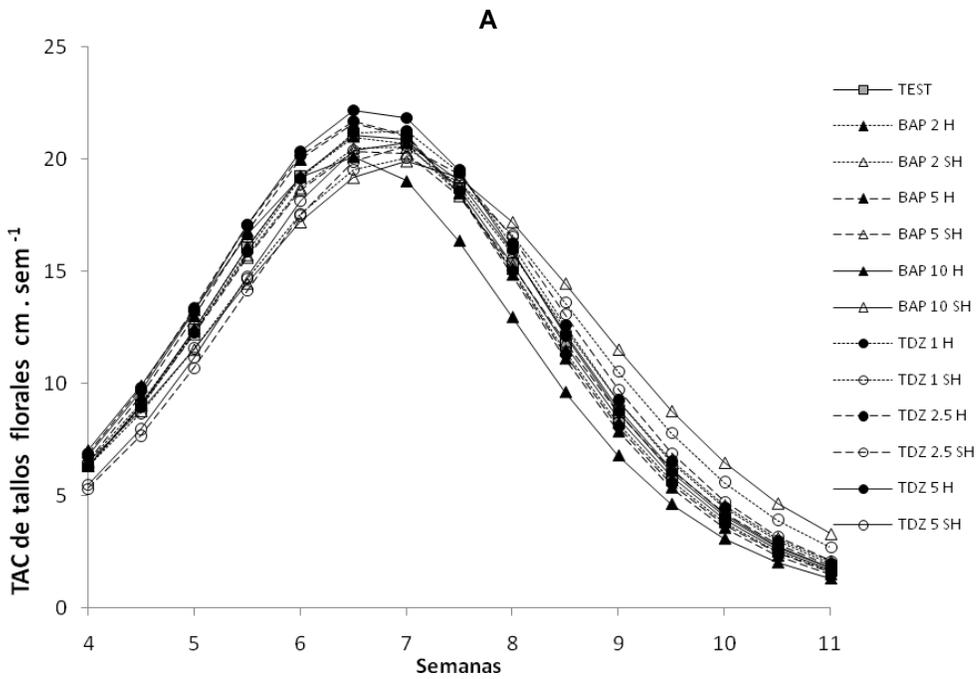
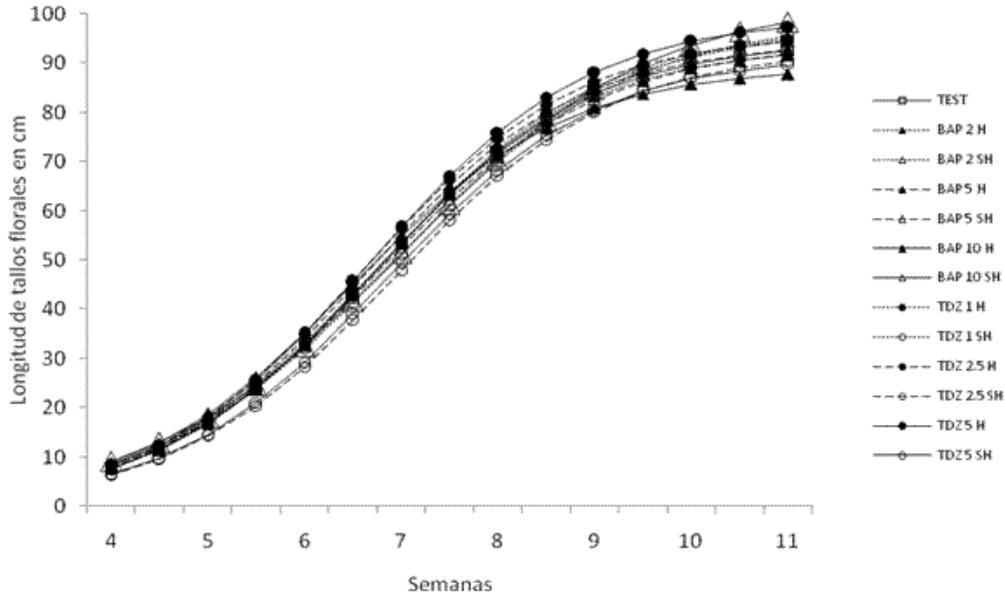
Para la tasa absoluta de crecimiento derivada de la longitud de los tallos florales, se observa en la Figura 12B que los tratamientos aplicados con herida tienen una mayor TAC durante las semanas cuatro a seis. La mayor TAC entre las semanas seis y siete corresponde a los tratamientos TDZ 5.000 mg.L⁻¹ y TDZ 2.500 mg.L⁻¹, ambos aplicados con herida. El tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹ aplicado con herida presentó la menor TAC, a partir de la semana siete y en adelante.

4.2.1 Tasa relativa de crecimiento

El tratamiento TDZ 5.000 mg.L⁻¹ aplicado sin herida tuvo la elongación más alta. Por el contrario, los tratamientos sin herida TDZ 1.000 mg.L⁻¹ y BAP 2.000 mg.L⁻¹ tuvieron la menor producción de material vegetal nuevo entre semanas 4 y 6 (Figura 13). Al apreciar la variación de la longitud durante la formación de los tallos basales y de los tallos florales se observa un comportamiento diferente del testigo, con respecto a la elongación de los tratamientos con las hormonas.

La variación en la longitud de los tallos de rosa está influenciada por la cantidad de la brotación (Marcelis-van Acker, 1994), igualmente por la forma como se aplican los tratamientos, ya que la respuesta a la herida presentaría comportamientos diferentes como lo muestran Laffitte et al. (2004) en plantas de guayaba, en donde se observó aumento de actividad meristemática en tejidos adyacentes a heridas generadas al aplicar tratamientos hormonales.

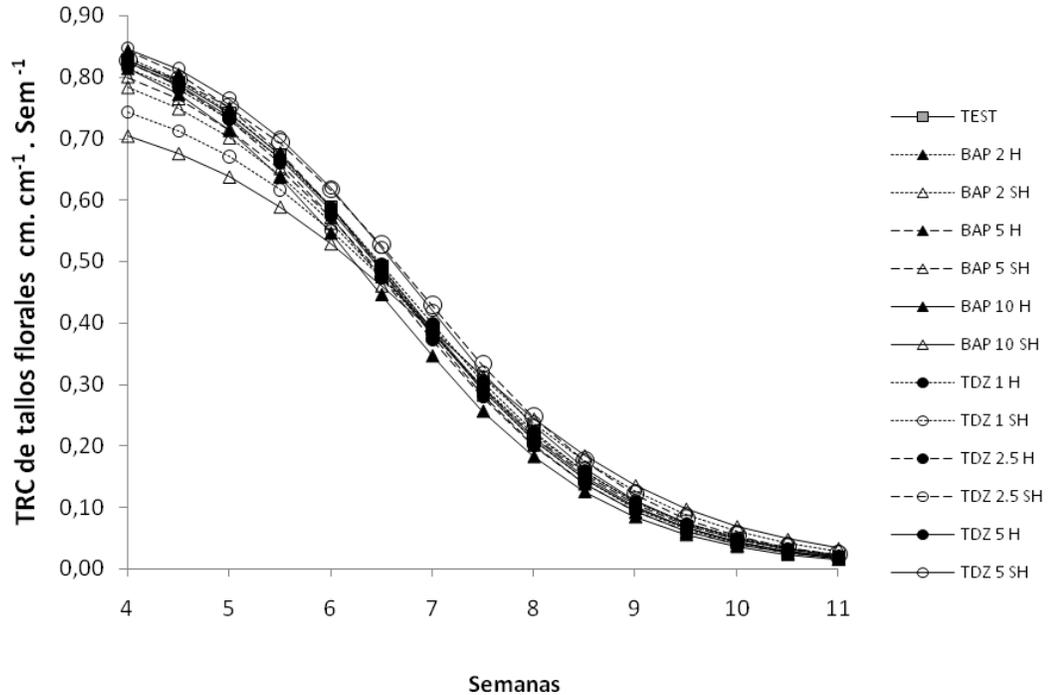
Figura 12. Curvas de crecimiento en **A** y comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en **B** para la variable longitud de tallos florales de primera cosecha ajustadas al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



B

Fuente: Resultados del experimento

Figura 13. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable longitud de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom, tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y T Diazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

Los resultados del crecimiento de los tallos basales y florales se ajustan al modelo de crecimiento sigmoideal, lo que concuerda con trabajos similares en rosa (Cárdenas, 2006; González et al., 2013; Pallo, 2017), en los cuales el aumento en la cantidad de los tallos florales disminuye los recursos disponibles y, así mismo, las tasas de crecimiento decrecen (Moreno-Medina et al., 2016). En los casos en los que no se perciben los tratamientos con hormonas, como por ejemplo en el testigo y en los tratamientos sin generación de herida, se observa un crecimiento más rápido de tallos basales y florales, por lo tanto, se obtienen mayores longitudes; características que son concordantes con el modelo de crecimiento logístico. Este modelo describe que al tener bajas poblaciones de brotes no se agotan los recursos y, por tanto, las tasas de crecimiento aumentan. Una vez que el brote está inducido y comienza a desarrollarse, cambia la relación fuente - vertedero, en donde se incrementa la demanda de fotoasimilados o reservas. El nivel de radiación fotosintéticamente activa incidente percibido por un brote ininterrumpidamente

en combinación con el número de los vertederos de la competencia influyen en el número total de brotes por corte, por planta o por metro cuadrado (Buck-Sorlin et al., 2011).

En tratamientos como el de BAP a 10.000 mg.L^{-1} con herida se genera alta brotación y posteriormente se evidencia reducción de la longitud de los tallos florales. Por otro lado, las pendientes de la elongación para tallos basales son más pronunciadas en comparación con la de los tallos florales. En este caso, se observa como los brotes del tratamiento testigo crecen rápida y tempranamente, y no se expresan de forma equivalente en la brotación del ciclo siguiente. Sin embargo, al detallar las TAC y TRC de las dos etapas (tallos basales y tallos florales), se encuentra una concentración en el crecimiento inicial y superior para las plantas tratadas con herida al momento de aplicar la hormona, lo que indica que la TRC representa la eficiencia en la producción de nuevo material.

Finalmente, cabe recordar que la variación en la longitud de los tallos de rosa está influenciada por la cantidad de la brotación (Marcelis-van Acker, 1994); igualmente, por la forma como se aplican los tratamientos, ya que la respuesta a la herida presentaría comportamientos diferentes como lo demuestran trabajos en plantas de guayaba (Laffitte et al., 2004), en donde se observó aumento de actividad meristemática en tejidos adyacentes a heridas generadas al aplicar tratamientos hormonales. El incremento de la longitud de los tallos basales del tratamiento testigo sin la aplicación de las Cqs describe la ausencia de competencia entre brotes, que se refleja en crecimiento más rápido y una mayor longitud, al no presentarse competencia entre la brotación los recursos se dirigen a tallos que crecen libremente (Moreno- Medina et al., 2016).

4.3 Área foliar y tasa absoluta de crecimiento de los tallos florales

El modelo muestra a BAP 2.000 mg.L^{-1} con herida como el tratamiento que obtiene su máxima área foliar de manera significativamente más rápida (5,40 semanas) (Tabla 4).

El área foliar final más alta corresponde al tratamiento TDZ 5.000 mg.L^{-1} con herida, al alcanzar $3654,17 \text{ cm}^2$ y el testigo obtiene un área baja, con $3150,33 \text{ cm}^2$ (Figura 14A). Los tratamientos con herida acumulan áreas mayores y los tratamientos sin herida producen superficies inferiores. Aunque BAP 10.000 mg.L^{-1} con herida inicia con la mayor área foliar entre las semanas 4 a 6, esta es superada desde la semana 7 y hasta la 10

por TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida. Los tratamientos con mayor formación de área foliar son TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida, BAP 10.000 mg.L⁻¹ con y sin herida y BAP 5.000 mg.L⁻¹ con herida.

Tabla 4. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable área foliar de tallos florales al modelo logístico, en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con BAP y TDZ.

Tratamientos			Parámetros					
	Concentración (mg.L ⁻¹)		α	k	Y			
Testigo	0		3150,33	ab	0,66	a	3,149	ab
BAP	2.000	Con herida	3152,68	ab	1,05	a	2,407	a
		Sin herida	3921,89	ab	0,62	a	3,663	ab
	5.000	Con herida	3815,40	b	0,86	a	3,006	ab
		Sin herida	3351,65	ab	0,93	a	2,784	ab
	10.000	Con herida	3974,18	b	0,67	a	2,715	ab
		Sin herida	4210,38	ab	0,62	a	3,535	ab
TDZ	1.000	Con herida	3342,29	ab	1,17	a	2,569	ab
		Sin herida	4268,56	ab	0,58	a	4,305	ab
	2.500	Con herida	3373,41	ab	1,02	a	2,763	ab
		Sin herida	2816,97	a	1,37	a	2,854	b
	5.000	Con herida	3913,62	b	1,06	a	3,185	ab
		Sin herida	3654,17	a	0,71	a	3,226	ab

α = Máxima magnitud de la variable; k = Constante que determina la pendiente de la curva; y Y = Momento de mayor tasa de crecimiento en semanas luego de la aplicación de la hormona.

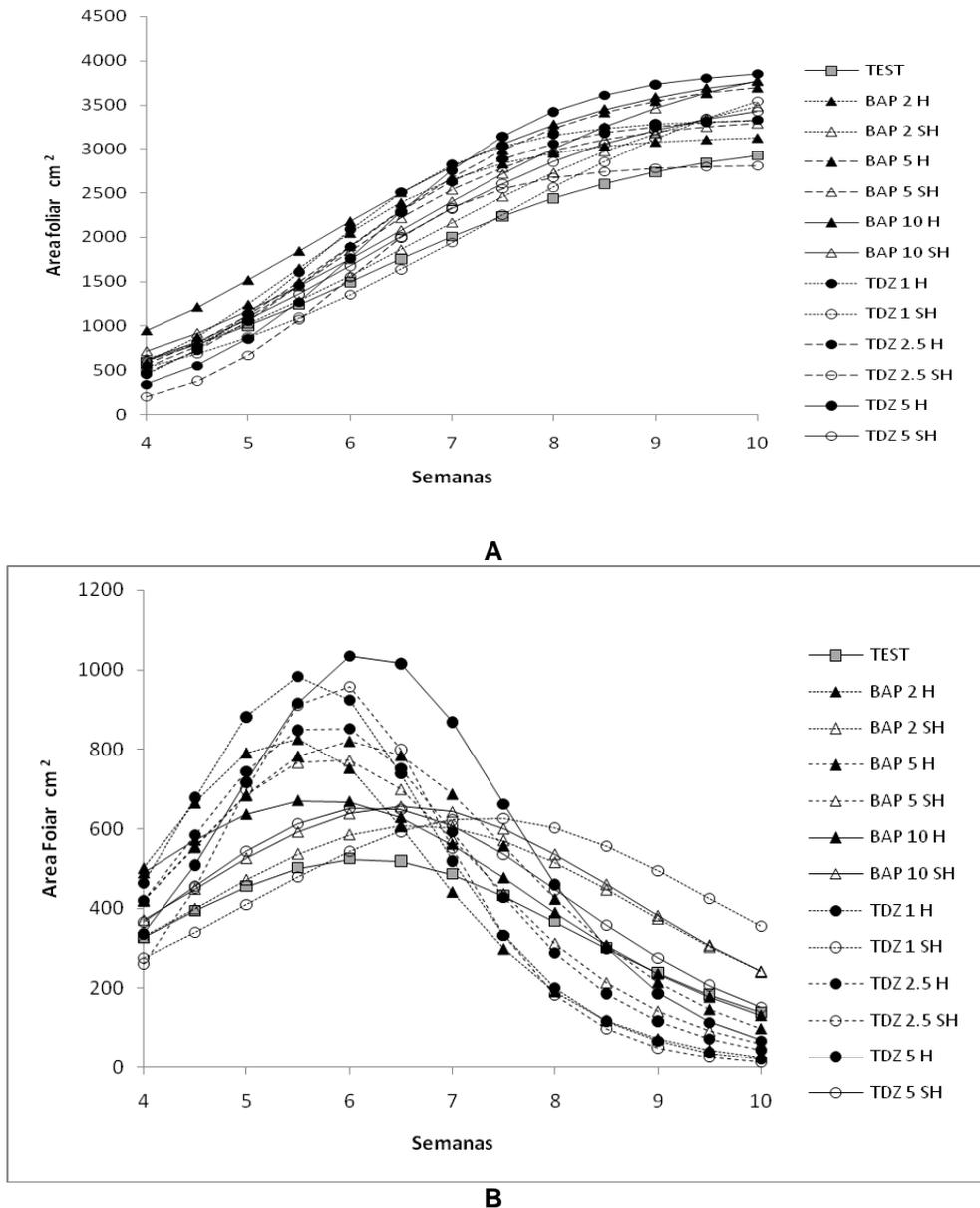
Tratamientos seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas por la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: Resultado de la investigación

En la Figura 14B se aprecia que los tratamientos con herida generaron una mayor expansión entre las semanas 4 a 7. El testigo tuvo baja fuerza en la formación de área foliar durante el periodo evaluado. Los tratamientos con herida BAP 2.000 mg.L⁻¹ y TDZ 1.000 mg.L⁻¹ tuvieron incremento fuerte entre las semanas 1 a 6, pero, descendieron en la producción de área foliar entre las semanas 7 y 10. El tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹

con herida tuvo un desempeño promedio, mientras que TDZ 1.000 mg.L⁻¹ sin herida mostró al final, entre las semanas 7 y 10, los mayores incrementos del área foliar. El tratamiento TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida manifestó los mayores incrementos del área foliar en las semanas 6 y 8 y luego disminuyó, demostrando la mayor fuerza en la formación de área foliar de todos los tratamientos.

Figura 14. Comportamiento del área foliar en **A** y de su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en **B** de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

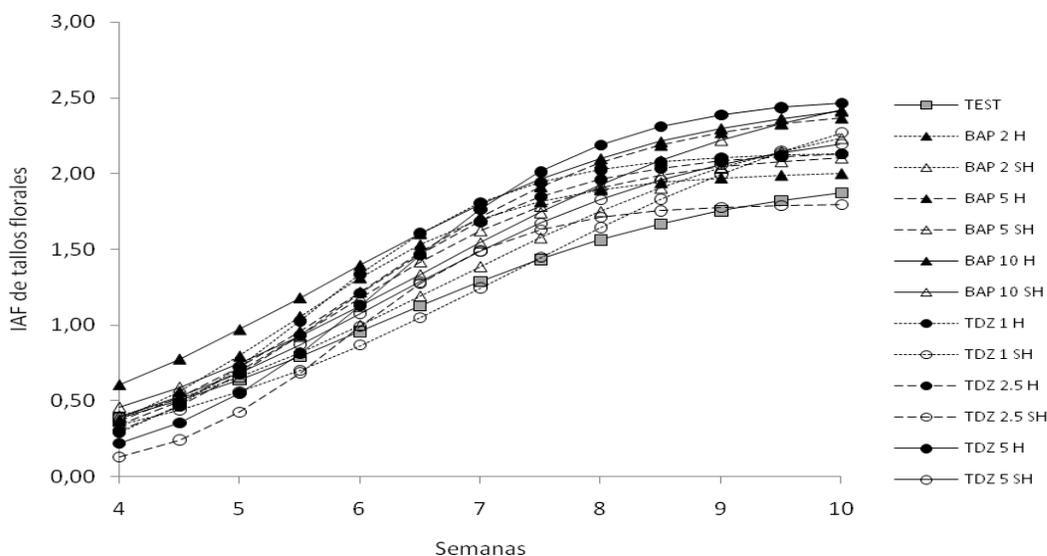
En los tratamientos aplicados con herida se destaca la mayor producción de área foliar en etapas iniciales. Sin la herida, tratamientos como el testigo, presentan una tendencia más estable. Este crecimiento más rápido se asocia a una menor longevidad del follaje. Las tasas de crecimiento pueden estar correlacionadas con las concentraciones de algunos compuestos químicos de la hoja. Por ejemplo, el crecimiento más rápido se asocia a concentraciones más altas de proteínas y minerales y no con hemicelulosa ni lignina. Las tasas de crecimiento alto contienen concentraciones altas de proteínas en las hojas; mientras que las de crecimiento lento tienen concentraciones altas de fenoles solubles y lignina (Valladares, 2008).

4.4 Índice de área foliar de los tallos florales

En la Figura 15 se aprecia que el testigo presenta un bajo índice de área foliar (IAF) entre semana 8 y 10 comparado con otros tratamientos. El tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹ con herida presenta entre las semanas 4 a 6 el mayor IAF. El tratamiento TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida tuvo durante las semanas 4 y 5 y al final en la semana 10 el menor IAF, muy similar al testigo, también con un área foliar baja. Los tratamientos de BAP con herida tendrían reiteradamente un mayor IAF que iguales tratamientos sin herida. El tratamiento TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida mantuvo todo el tiempo baja área foliar.

Para obtener este índice, el área foliar de cada medición se dividió en 1562,5 cm que es el área que corresponde a cada planta bajo una densidad de 64.000 plantas por hectárea. Algunos autores sugieren un índice cercano a 4 (Australian Government, 2009), cuando se involucran los tallos totales por planta, que serían tres en este trabajo. Un mayor IAF expresa una mayor brotación en búsqueda de luz y una disminución del IAF se observa en el momento en que las plantas no requieren producir más área al no tener alta competencia entre tallos formados. Es importante aclarar que un alto IAF no siempre expresa una alta producción o masa seca.

Figura 15. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).

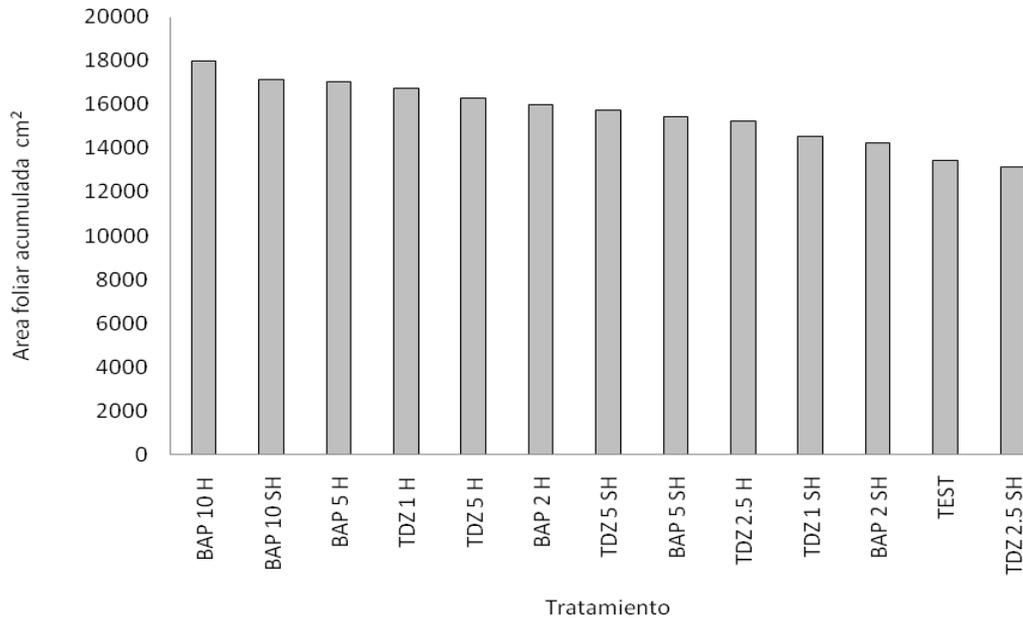


Fuente: Resultados del experimento

4.5 Área foliar acumulada de los tallos florales

La mayor área foliar acumulada al sumar las hojas de tallos de rosas creciendo más el follaje de los tallos ciegos, corresponde a los tratamientos con herida BAP 10.000 mg.L⁻¹ y BAP 5.000 mg.L⁻¹, al igual que BAP 10.000 mg.L⁻¹ sin herida. Las menores áreas foliares acumuladas corresponden al testigo y al tratamiento TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida (Figura 16). La producción de follaje por parte de los tratamientos con herida es mayor que la del testigo y que la de los tratamientos aplicados sin herir el tejido vegetal. Este rayado permite el contacto de las sustancias con el tejido y asegura el crecimiento de las zonas meristemáticas (Carranza, Lancho, Miranda, & Chaves, 2009; Laffitte et al., 2004).

Figura 16. Comportamiento del área foliar acumulada de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

4.6 Masa seca y su tasa absoluta de crecimiento de los tallos florales

En el modelo se obtiene la menor acumulación de masa seca en los tratamientos sin herida TDZ 2.500 mg.L⁻¹ y TDZ 5.000 mg.L⁻¹, en BAP 5.000 mg.L⁻¹ sin herida y en el testigo (Tabla 5). Por otro lado, los tratamientos con mayor acumulación de masa seca corresponden a los aplicados con herida TDZ 5.000 mg.L⁻¹ y BAP 5.000 mg.L⁻¹. Los tratamientos que logran anticipadamente su pico de producción de masa seca son el tratamiento TDZ 1.000 mg. L⁻¹ con herida y el TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida.

Tabla 5. Valores estimados para los parámetros α , k y Y en el ajuste de la variable masa seca de cosecha al modelo logístico, en rosa variedad Freedom tratada con citoquininas.

Tratamientos			Parámetros					
	Concentración (mg.L ⁻¹)		α		k		Y	
Testigo	0		45,16	abc	0,70	a	6,63	ab
BAP	2.000	Con herida	47,17	bc	0,70	a	6,36	a
		Sin herida	51,81	abc	0,62	a	6,86	ab
	5.000	Con herida	57,69	c	0,70	a	6,87	ab
		Sin herida	42,19	b	0,96	a	6,01	ab
	10.000	Con herida	55,56	c	0,65	a	6,42	ab
		Sin herida	57,43	abc	0,57	a	7,20	ab
TDZ	1.000	Con herida	43,60	bc	1,36	a	5,82	ab
		Sin herida	64,29	abc	0,52	a	8,01	ab
	2.500	Con herida	45,45	bc	1,18	a	5,91	ab
		Sin herida	34,56	a	1,56	a	5,73	b
	5.000	Con herida	63,84	bc	0,73	a	7,01	ab
		Sin herida	44,52	abc	0,82	a	6,13	ab

α = Máxima magnitud de la variable; k = Constante que determina la pendiente de la curva; y Y = Momento de mayor tasa de crecimiento en semanas luego de la aplicación de la hormona.

Tratamientos seguidos por la misma letra no presenta diferencias estadísticas significativas por la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: Resultados del experimento

En la Figura 17A se aprecia como la masa seca del testigo se mantuvo baja. Por otro lado, el tratamiento BAP 5.000 mg.L⁻¹ con herida muestra una masa seca que fue alta en semanas 9 y 10. Además se observa como el tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹ aplicado con herida tuvo valores superiores en varios momentos. Los tratamientos TDZ con herida a 1.000 y 2.500 mg.L⁻¹ se destacaron por una alta conversión de masa seca en las semanas intermedias (6 y 8). Se observa que la masa seca de TDZ 1.000 mg.L⁻¹ sin herida fue la más baja entre estas semanas, además en TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida, la producción de masa seca fue muy baja al inicio y al final. Por último, se aprecia que TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida produjo la mayor masa seca en las semanas 8, 9 y 10.

Para la TAC de la masa seca de los tallos florales en la Figura 17B se aprecia que la mayor fuerza en conversión de masa en las primeras semanas corresponde a los tratamientos TDZ 1.000 mg.L⁻¹ con herida y a los tratamientos TDZ 2.500 mg.L⁻¹ con y sin herida. El tratamiento TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida muestra una alta TAC para la variable masa seca a través del tiempo. Para el caso de BAP 5.000 mg.L⁻¹ con herida, se observa en la semana siete su mejor desempeño en la producción de masa seca; mientras que el tratamiento TDZ 1.000 mg.L⁻¹ sin herida es el que muestra su pico más retrasado en las semanas 7 a 10.

4.6.1 Tasa relativa de crecimiento

La Figura 18 muestra como los tratamientos con herida TDZ a 1.000 y 2.500 mg.L⁻¹ y el tratamiento TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida son los más demandantes y asimiladores de carbono en las primeras semanas (4 a 6), pero luego su tasa de conversión disminuye.

Figura 17. Comportamiento de la masa seca total en **A** y de su respectiva la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en **B** de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).

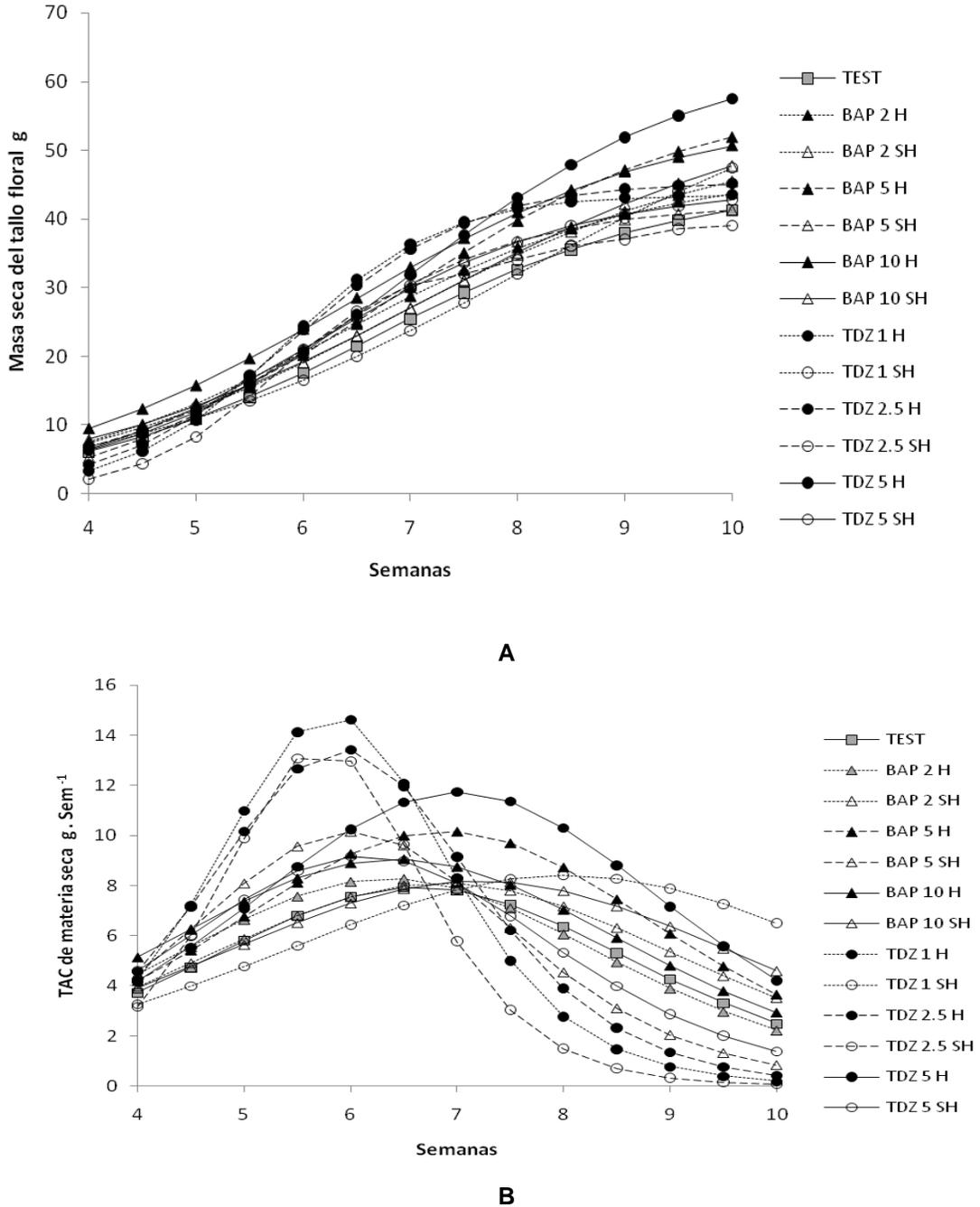
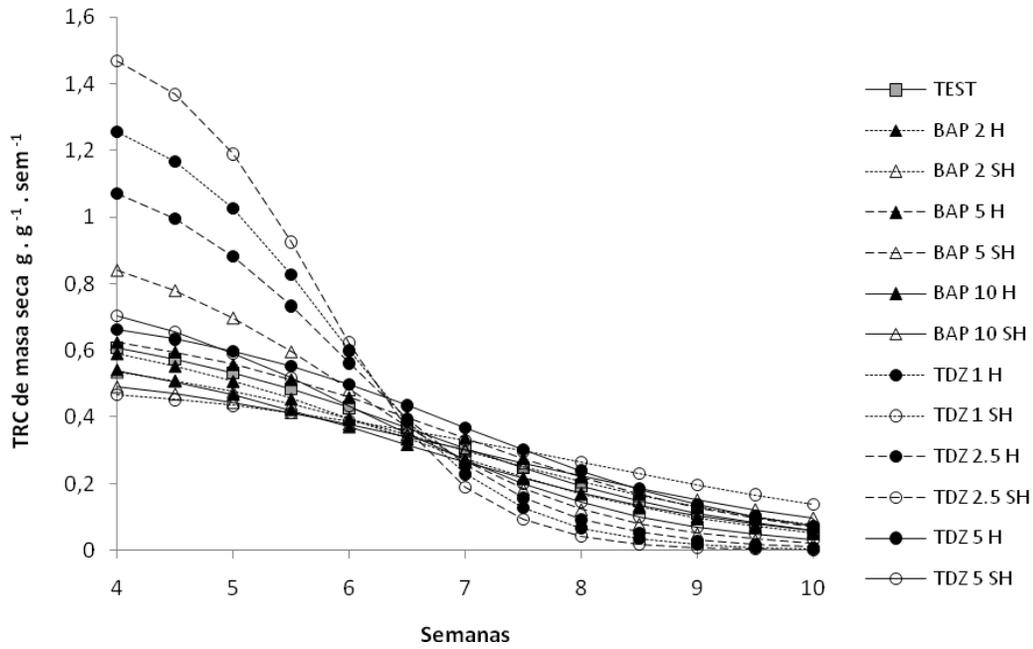


Figura 18. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) para la variable masa seca total en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



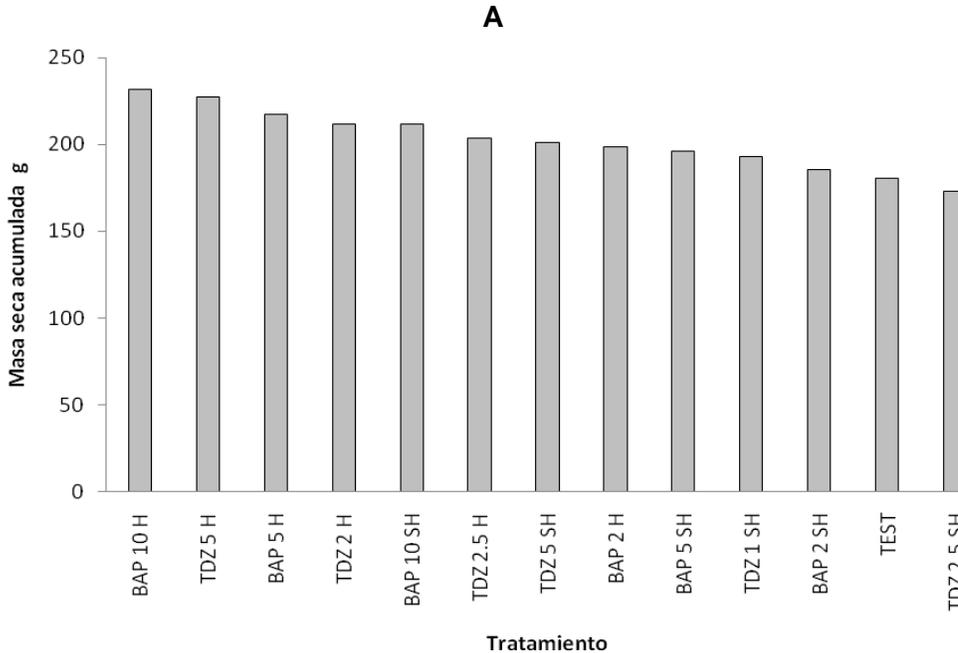
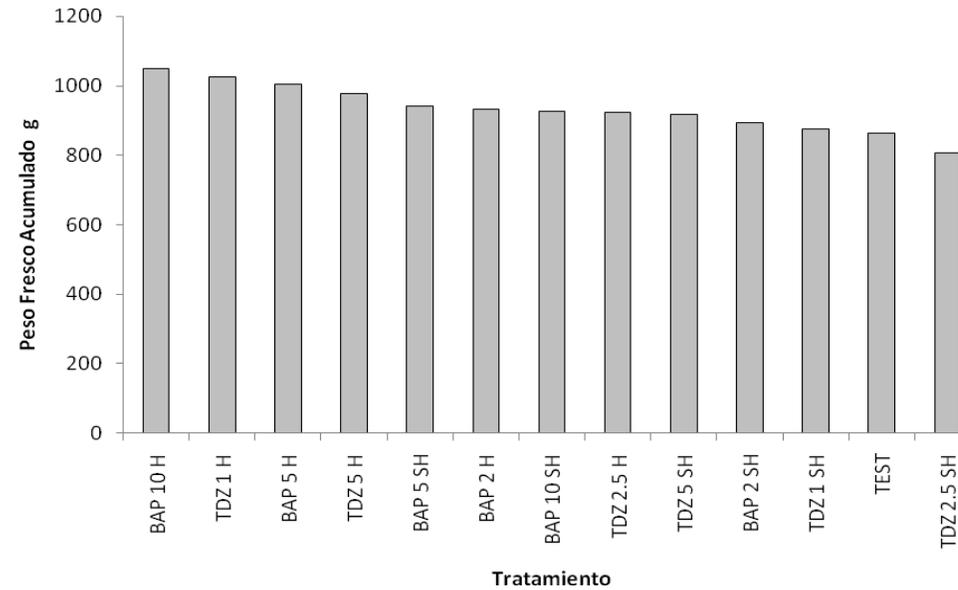
Fuente: Resultados del experimento

4.7 Masa fresca y masa seca acumuladas en los tallos florales

En la Figura 19A se observa como de manera equivalente al área foliar, en la sumatoria final de la masa fresca, el mayor registro lo genera BAP 10.000 mg.L⁻¹ con herida y los menores datos son para el Testigo y TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida. La información que se recolecte de la medición de masa fresca puede predecir los valores de masa seca ($R^2 \geq 0,98$) (Yeo, Cho, & Lee, 2011).

En la Figura 19B al observar la sumatoria acumulada de los datos promedio de cada momento de medición de la variable masa seca, las mayores cifras corresponden a los tratamientos aplicados con herida BAP 10.000 mg.L⁻¹ y TDZ 5.000 mg.L⁻¹. La producción de masa seca de los tratamientos con herida, es mayor a la producción de masa seca en el testigo y en los tratamientos en los cuales se aplicaron las hormonas sin herir el tejido vegetal.

Figura 19. Comportamiento de la masa fresca en **A** y de la masa seca en **B** acumuladas en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



B

Fuente: Resultados del experimento

Respecto al área foliar, a la masa fresca y a la masa seca de tallos florales se encontró que los tratamientos con herida en la base del tallo estimulan mayores área foliar, masa fresca y masa seca. Lo que concuerda con Barrientos, Del Castillo, y García (2015), en donde la proporción de biomasa asignada a las hojas, los tallos y las flores en cada estadio del desarrollo fenológico está en función de la dinámica del crecimiento y de la tasa de partición de fotoasimilados, que dependen del área foliar, de la oferta ambiental y de la disponibilidad de nutrientes. Es importante recordar que los tallos basales emergen sobre el punto del injerto y que son fuertes, con mayor diámetro y más largos que los tallos que emergen de otras posiciones de la planta, pudiendo llegar a crecer hasta 20 cm en 24 h (Pallo, 2017). Por ejemplo, en el tratamiento TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida se presenta una TAC de 14 cm por semana en su etapa más elevada de producción de masa seca. Así, a una mayor biomasa en función del tiempo puede ser un indicador del poder de la aplicación de un regulador como el TDZ.

Por otra parte, la herida en la aplicación es determinante, lo que se observa en el desempeño del área foliar generada con los tratamientos con BAP y TDZ aplicados por este método; mientras que, la formación de follaje en el tratamiento testigo, sin citoquininas, es baja. En los tratamientos en los que se practicó herida se destaca mayor producción de área foliar en etapas iniciales; en esta fase una gran parte de los asimilados deben ser destinados a la formación de la parte aérea, y este crecimiento más rápido se asocia con menor longevidad del follaje del cultivo.

La TRC inicialmente presentó valores altos que fueron disminuyendo conforme avanzó el ciclo del cultivo, lo cual concuerda con lo expuesto por Galindo et al. (2004). Las aplicaciones de los productos sin herida y en el tratamiento testigo presentan tendencias con pendientes menores o suaves en el incremento del área foliar. La producción de área foliar se correlaciona con la masa seca producida, como observado en el cultivo de papa (Morales, Rodríguez, Rodríguez, Ventura, & Lima et al., 2016); en el presente ensayo, las dosis medias y altas de BAP incentivan la producción de masa seca. De otro lado, en las plantas sin tratar o con aplicaciones de dosis bajas y medias de las sustancias con actividad citoquinínica, en la modalidad sin herida, no perciben la señal y no se presentan un crecimiento significativo.

Así mismo, los mayores valores de acumulación de masa fresca y seca se observan en los tratamientos de aplicación con herida. Si se tiene en cuenta que el rendimiento en el cultivo de rosa está en función de la capacidad de acumular biomasa fresca y seca en los

órganos que se destinan a la cosecha, con el objetivo de producir tallos florales, un aumento de área foliar y masa seca en tallos ciegos se considera una formación de material que no suma al incremento del rendimiento en cuanto a tallos florales con fines comerciales.

4.8 Relación de masa foliar

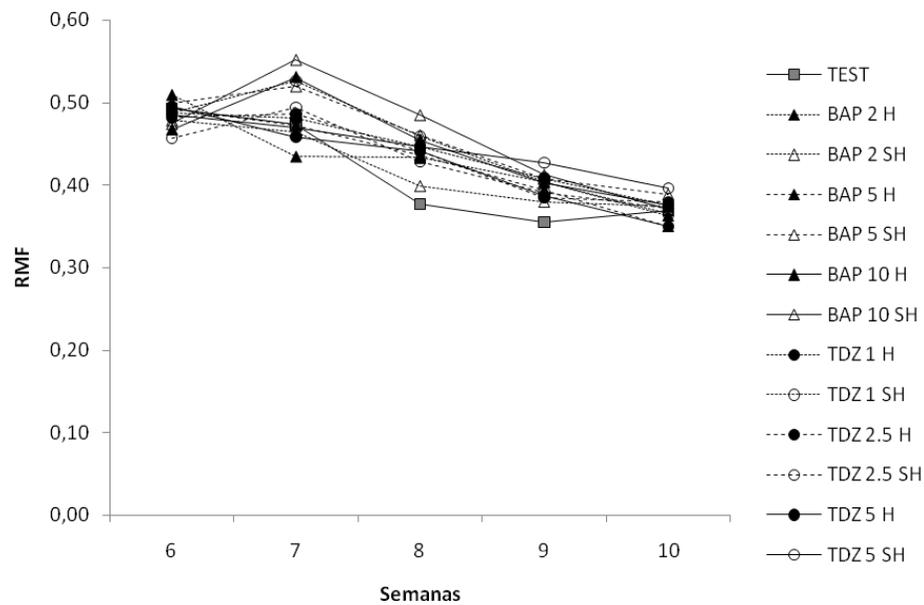
En la Figura 20A se observa la relación de masa foliar (RMF) que indica como en las semanas 8 y 9 la proporción de la conversión de masa seca en el follaje del tratamiento testigo es la menor del periodo evaluado. Los tratamientos de BAP 10.000 mg.L⁻¹ con y sin herida muestran la mayor RMF hacia la semana 7, siendo las que más conversión de masa seca realizan en las hojas antes de la formación de los botones florales que inician hacia la semana 8. A los tratamientos con herida TDZ 5.000 mg.L⁻¹ y BAP 10.000 mg.L⁻¹ les corresponde la RMF más baja, al final de la medición en la semana 10. En la última semana la asignación de biomasa hacia las hojas es baja.

El valor de RMF obtenido por González et al. (2013) en rosa variedad Charlotte en el cual la distribución de la masa seca de las hojas con respecto a la masa seca total fluctuó entre el 45 y 50%. Entre mayor sea la asignación de biomasa para hojas, habrá mayor capacidad para captar luz y CO₂, lo que redundará en una mayor tasa de crecimiento. Las plántulas de las especies leñosas tienen una gran proporción de biomasa foliar (sobre el 40% del peso total), comparable a las plantas herbáceas (Valladares, 2008).

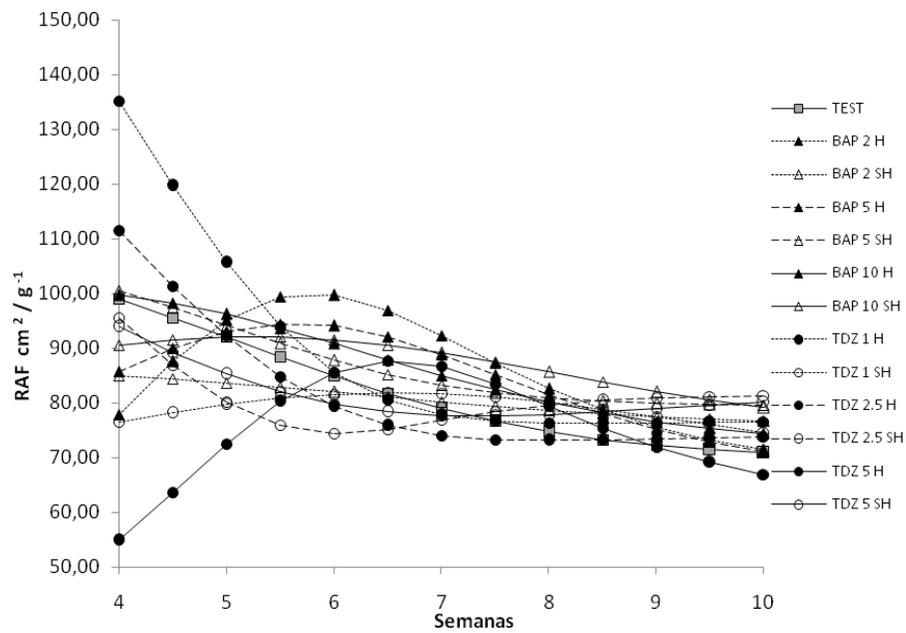
4.9 Relación de área foliar

En Figura 20B se muestra que la mayor relación de área foliar (RAF) en producción de masa seca corresponde a los tratamientos con herida TDZ 1.000 mg.L⁻¹ y TDZ 2.500 mg.L⁻¹ durante las semanas iniciales, mientras que TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida es el tratamiento con menor valor de RAF. Los mayores números de este índice representan una ventaja por parte de la planta al conseguir un mayor tamaño (biomasa) en menor tiempo, que le permiten a su vez captar más recursos (luz, agua y nutrientes) y en definitiva le confiere una mayor capacidad competitiva (Valladares, 2008).

Figura 20. Comportamiento de la relación masa foliar (RMF) en **A** y de la relación área foliar (RAF) en **B** en tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



A



B

Fuente: Resultados del experimento

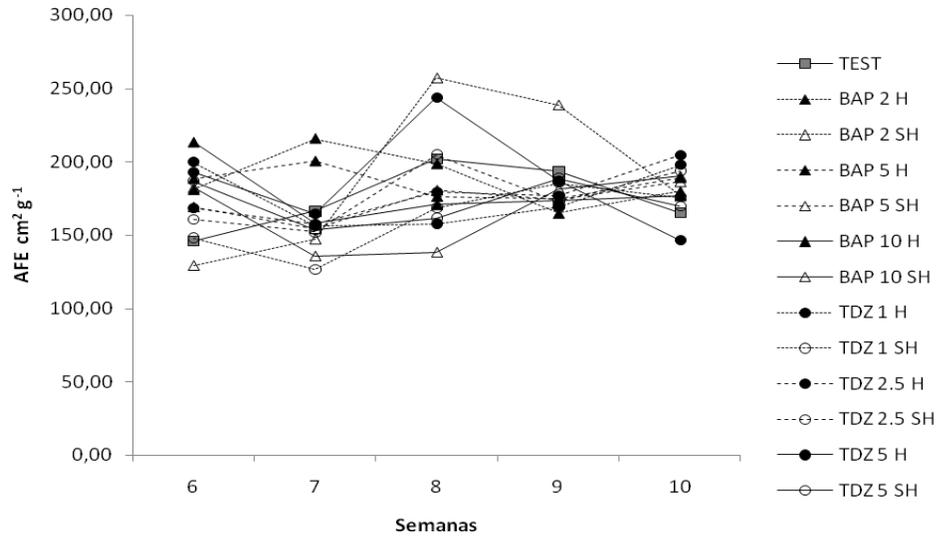
4.10 Área foliar específica

Al describir la Figura 21A se constata que las plantas en el tratamiento testigo durante las semanas 8 y 9 son las más frondosas y frágiles. Los tratamientos BAP 2.000 mg.L⁻¹ sin herida y TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida muestran la menor densidad del follaje en este periodo, el cual es de mayor fragilidad para estos tratamientos mientras los otros presentan mayor lignificación. En semana 7 la RAF de los tratamientos con herida BAP 2.000 mg.L⁻¹ y BAP 5.000 mg.L⁻¹ muestran una fragilidad momentánea de las hojas que rápidamente es superada en semana 8 por BAP 2.000 mg.L⁻¹ sin herida y TDZ 5.000 mg.L⁻¹ con herida, y que tendrían un follaje para mayor productividad, menos lignificado, de mayor susceptibilidad y de menor duración (Valladares, 2008).

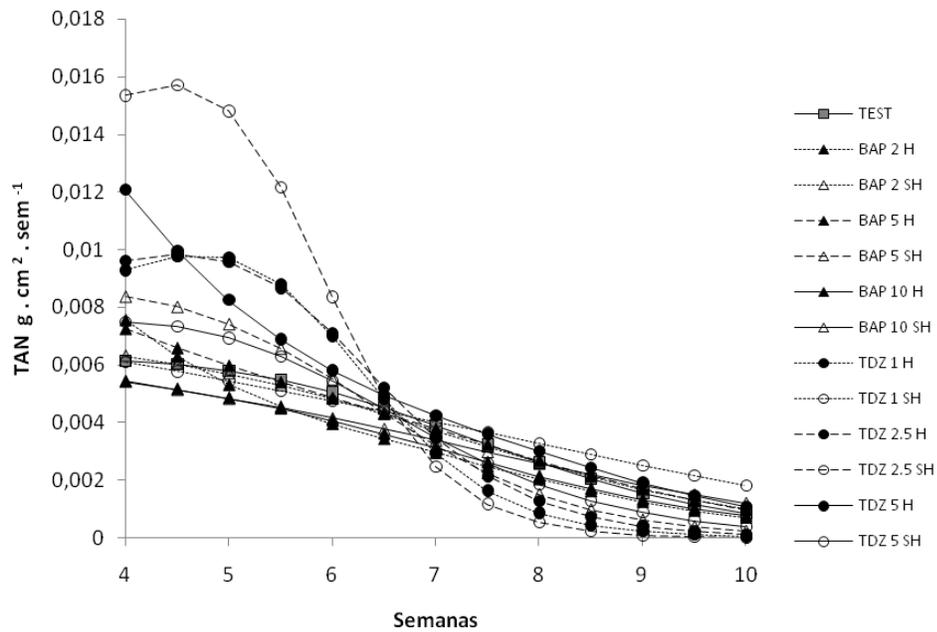
4.11 Tasa de asimilación neta

En la Figura 21B muestra que todos los tratamientos de TDZ con herida tuvieron una alta ganancia neta de asimilados (TAN) durante las semanas cuatro a seis, mientras que los tratamientos de BAP con herida expresaron una baja ganancia neta de asimilados en este periodo. El tratamiento TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida muestra ser el mayor ganador neto de asimilados, el cual cae por debajo de todos a partir de la semana siete hasta la semana 10.

Figura 21. Comportamientos de la relación de área foliar específica (AFE) en **A** y de la tasa de asimilación neta (TAN) en **B** de tallos florales de primera cosecha en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



A



B

Fuente: Resultados del experimento

La RMF permite analizar la proporción de la masa seca foliar con respecto a la masa seca total de la planta, la cual fue máxima y cercana al 50% entre las semanas seis y ocho (mayor frondosidad del follaje) antes del inicio de la formación del botón floral. Este resultado es similar al reportado por González et al. (2013), en rosa variedad Charlotte. De otro lado, en la RAF, en las semanas 4 a 6 la masa seca es correlacionada con un incremento notable del área foliar, en particular en los tratamientos BAP 2.000 y TDZ 5.000 mg.L⁻¹ aplicados con herida, en donde hay mayor acumulación de masa seca previo a la formación de botones florales y, luego, esta relación decrece al madurar el follaje, con el incremento de translocación de biomasa para el desarrollo de la flor. El AFE en los tratamientos aplicados con herida, en el periodo inicial de evaluación (semanas 6 y 7) expresan una mayor área foliar en función de su masa. Al presentarse la transducción de señal en función de la presencia de las citoquininas en el tejido vegetal se generan tasas de crecimiento que pueden estar correlacionadas con ciertos compuestos; por ejemplo, un crecimiento más rápido se asocia a concentraciones más altas de proteínas y minerales, lo que conlleva a mayor succulencia en el follaje, y no con hemicelulosa ni lignina que le darían resistencia mecánica. Las tasas de crecimiento alto están asociadas a concentraciones altas de proteínas, mientras que las de crecimiento lento a concentraciones altas de fenoles solubles y lignina (Valladares, 2008). Esta bioquímica se interpreta como el aumento de susceptibilidad del follaje tanto a daño mecánico como a enfermedades e insectos.

5 Indicadores de productividad

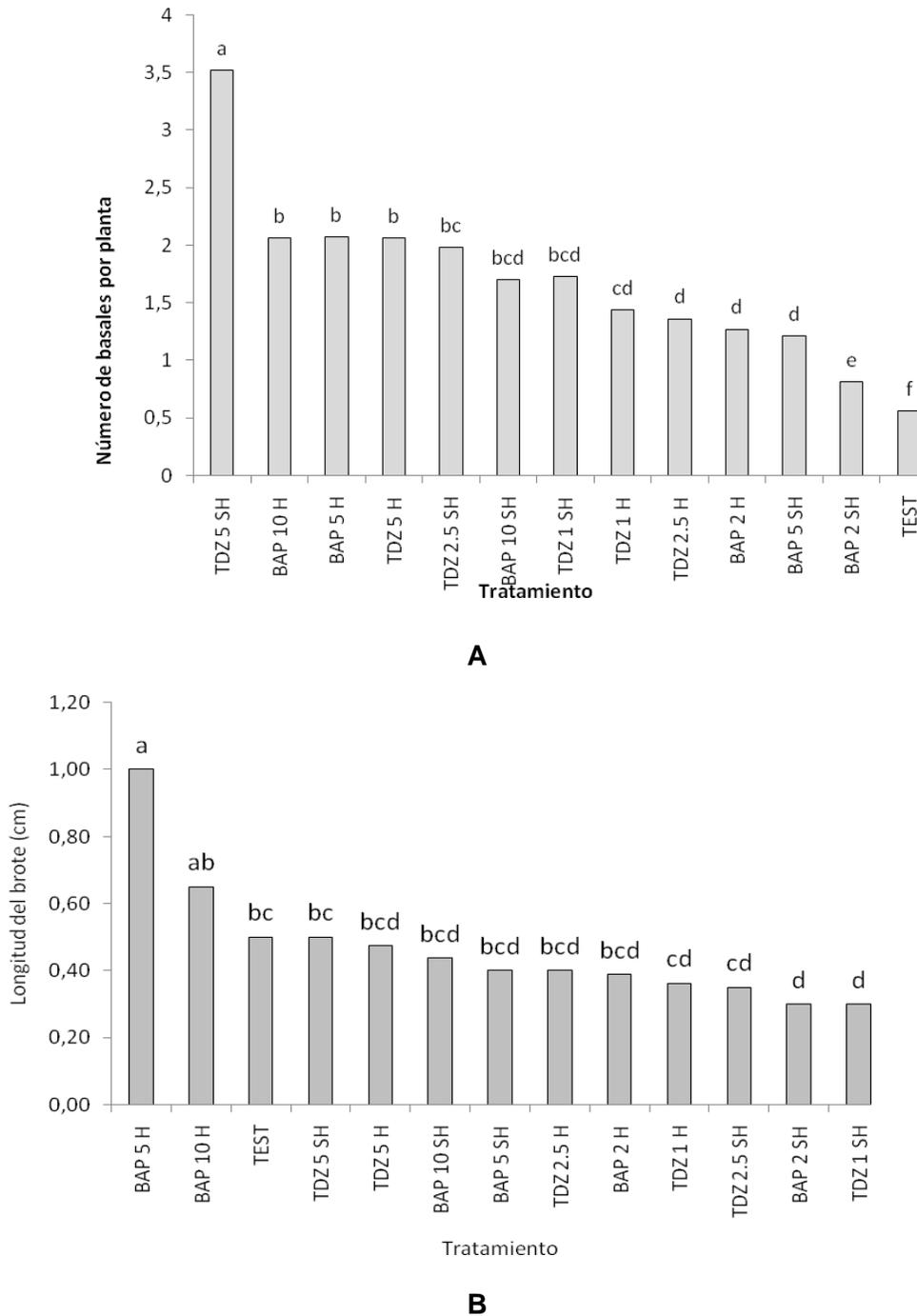
5.1 Número de tallos basales por planta

En la Figura 22A se resume que los tratamientos que generan más basales son aquellos con dosis altas, seguidos por las dosis medias y bajas y sin la aplicación de tratamientos. La mayor cantidad de basales fue para TDZ 5.000 mg.L⁻¹ sin herida (3,52 basales/planta). En la aplicación de BAP a 5.000 y 10.000 mg.L⁻¹, la presencia de la herida genera mayor cantidad de brotes, lo que estimula 2,07 y 2,06 basales/planta, respectivamente. El menor número de basales por planta fue para el tratamiento testigo (0,56) y para BAP 2.000 mg.L⁻¹ sin herida (0,81). Resultados obtenidos por Martínez (2010) mostraron que la mejor dosis de producto comercial a base de BAP fue 9.950 mg.L⁻¹ ya que indujo la mayor cantidad de basales, con 2 basales por planta, comparado con las dosis 7.960 mg.L⁻¹ y 4.975 mg.L⁻¹ que obtuvieron en promedio 1,6 y 1,8 basales/planta, respectivamente. En trabajo elaborado por Freitas y Díaz de Manzano (2004) la generación de brotes basales en la formación de la planta de rosa sin el uso de hormonas fue de 1,33 basales / planta. En ensayos sobre sustratos en hidroponía, se determinaron en la variedad de rosa Fashion entre 0,9 y 1,56 basales / planta (www.encolombia.com/economia/floriculturandina). Al aplicar BAP a razón de 1.000 mg.L⁻¹ se obtuvieron 0,42 basales por planta en la variedad de rosa Vendela (Ayala, 2010).

5.1.1 Crecimiento de los tallos basales una semana después de aplicar los tratamientos

El crecimiento de los basales generado en la primera semana con los tratamientos con herida y BAP a 5.000 y 10.000 mg.L⁻¹ fue de 1,0 cm y 0,65 cm, respectivamente, y en el tratamiento testigo, este crecimiento fue de 0,3 cm, como lo muestra la Figura 22B. En el cultivo de zarzamora la aplicación de sustancias con actividad citoquinínica, como con el TDZ, adelanta entre siete y 15 días la brotación de yemas (Galindo et al., 2004).

Figura 22. Número de brotes basales inducidos en **A** y crecimiento de estos brotes basales luego de una semana en **B** en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiazuron (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

5.1.2 Diámetro de tallos basales

El calibre de los tallos basales que crecen en el tratamiento testigo (11,72 mm) es mayor que el de los brotes generados con la aplicación de BAP o TDZ. En particular, el tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹ con herida presenta el menor calibre (10,12 mm) (Figura 23A).

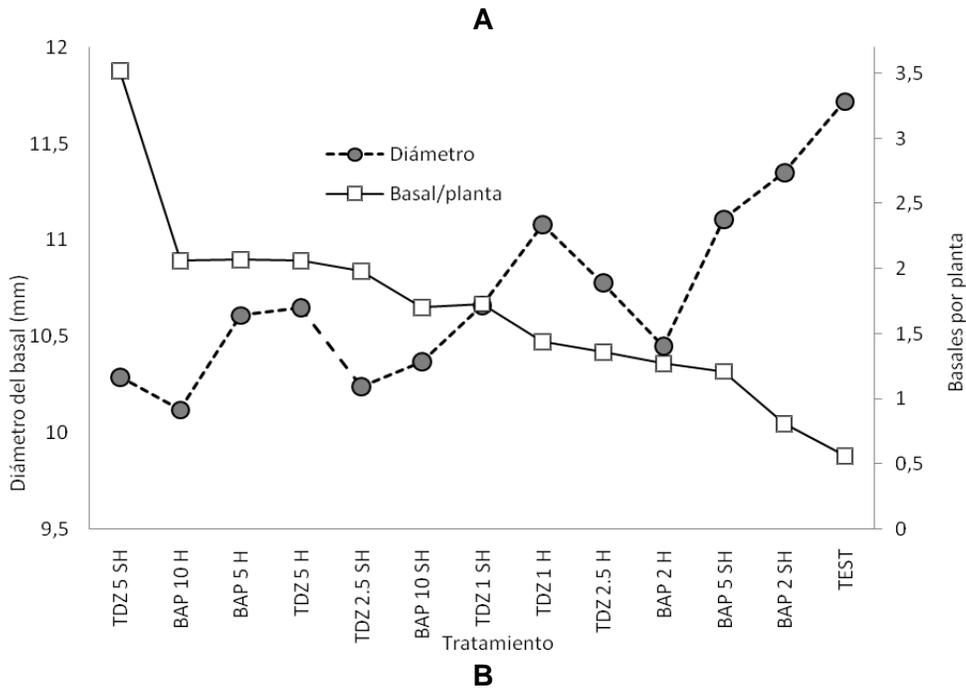
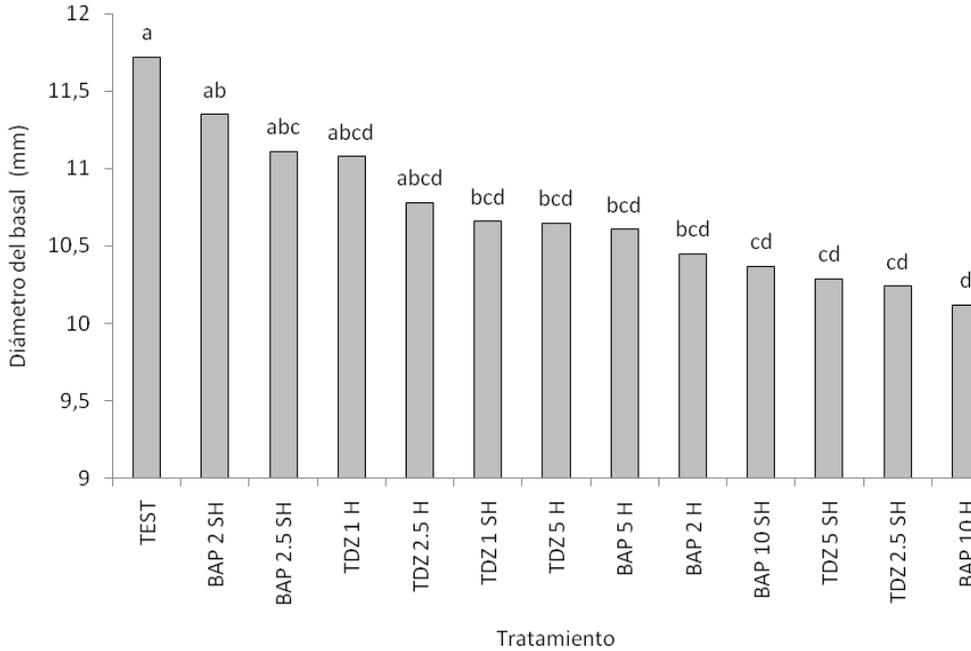
La calidad de los basales es importante debido a que el número y la calidad de la brotación lateral se correlacionan positivamente con el diámetro del nuevo brote (Latimer & Whipker, 2012). El diámetro del tallo es importante porque tallos gruesos tienen cogollos pesados y forman brotes laterales gruesos y también pesados (Marcelis-van Acker, 1994). Las yemas de brotes gruesos crecen más fácilmente y el tiempo de desarrollo para la floración se ve disminuido. Brotes gruesos también translocan asimilados hacia el nuevo brote de desarrollo con eficacia.

5.1.3 Relación entre número de basales y su calibre

A mayor número de brotes basales, su diámetro o calibre es menor (Figura 23B). Como se menciona en el apartado anterior, el mayor calibre de los tallos basales se obtuvo en el tratamiento testigo mientras que el menor calibre en el tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹ con herida.

En rosa variedad Vendela el calibre de los basales estuvo entre 9,15 y 9,89 mm (Ayala, 2010); mientras que en las variedades Madame Delbard y Golden times la mayor calidad se produjo en los tratamientos con un menor número de tallos basales (Avendaño & Pardo, 1992). Entretanto, Wu y Chang (2012) observaron al aplicar BAP a 150 mg.L⁻¹ en orquídeas un mayor número de brotes inducidos pero con menor calibre. La biomasa de una planta en un momento determinado, no solo depende de su tasa de crecimiento sino también de la biomasa inicial, que viene determinada en los primeros estadios de formación (Valladares, 2008).

Figura 23. Diámetro de los brotes basales en **A** y relación entre el diámetro del basal y el número de basales inducidos en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

5.1.4 Tallos ciegos en la cosecha

La menor cantidad de tallos ciegos se presentó en el tratamiento testigo, con 0,51 tallos ciegos por planta (Figura 24A); así mismo, las dosis bajas aplicadas con los tratamientos sin herida como TDZ 1.000 mg.L⁻¹ y BAP 2.000 mg.L⁻¹ presentaron 0,5 y 0,6 tallos ciegos por planta, respectivamente. El mayor número de tallos ciegos (1,62) se relaciona con la obtención de las menores longitudes de tallos florales (Figura 28). La competencia entre los brotes hace que se redistribuyan los recursos, lo cual no permite mejores longitudes de los tallos y, por otro lado, dichos recursos no son suficientes para formar más tallos flores. Las dos sustancias con actividad citoquinínica a dosis bajas y sin herida, no afectan las plantas. Los brotes ciegos tienen generalmente menos hojas y son más cortos y más delgados que los brotes florales (Särkkä, 2004) (Figuras 24B y 24C). Al aplicar 10.000 mg.L⁻¹ de BAP en la variedad Vendela se produjeron 0,29 ciegos por planta (Ayala, 2010).

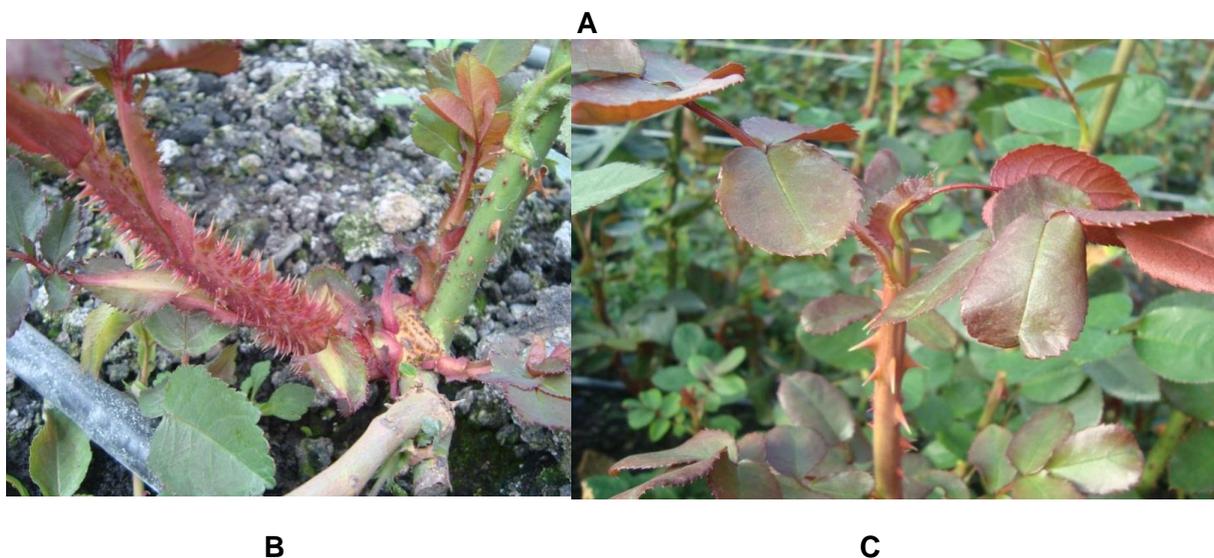
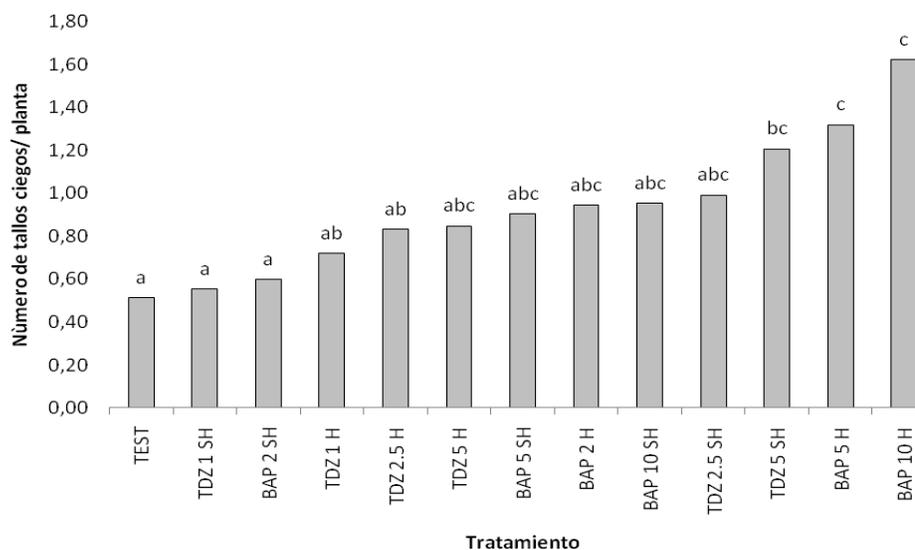
5.1.5 Relación entre los diámetros de los tallos basales y de los florales de primera cosecha

El diámetro del tallos basal del tratamiento testigo (13,74 mm) es mayor y significativamente diferente con respecto al tratamiento de BAP 10.000 mg.L⁻¹ con herida (11,3 mm); y, de manera equivalente, el diámetro del tallo de los tallos florales de cosecha es mayor y significativamente diferente en el tratamiento testigo (9,49 mm) con respecto al tratamiento BAP 10.000 mg.L⁻¹ con herida (8,29 mm) (Figura 25). De esta manera, se refleja la ausencia de competencia entre brotes de las plantas del testigo y, por ende, un mejor calibre de los tallos florales.

Thornley (1999) trabajó en modelos con información de árboles para encontrar la relación entre el calibre de los brotes y su longitud, al igual que Särkkä (2004) observó la relación existente entre la calidad del basal y la de los brotes generados por estos. En manzano, la longitud total de brotes fue mayor con porta injertos gruesos y medianos que con porta injertos delgados (Monder & Hetman, 2011). Un modelo elaborado para kiwi (*Actinidia deliciosa*) simula el efecto de las reservas de carbono y muestra que el crecimiento de los brotes es directamente proporcional a la cantidad de las reservas disponibles. Se investigó el efecto de la distribución de las reservas de carbono de tallos padres en el crecimiento de brotes axilares (Davies, 1995). Marcelis-van Acker (1994) en plantas de rosa constató que el diámetro del tallo hijo estaba estrechamente relacionado con el

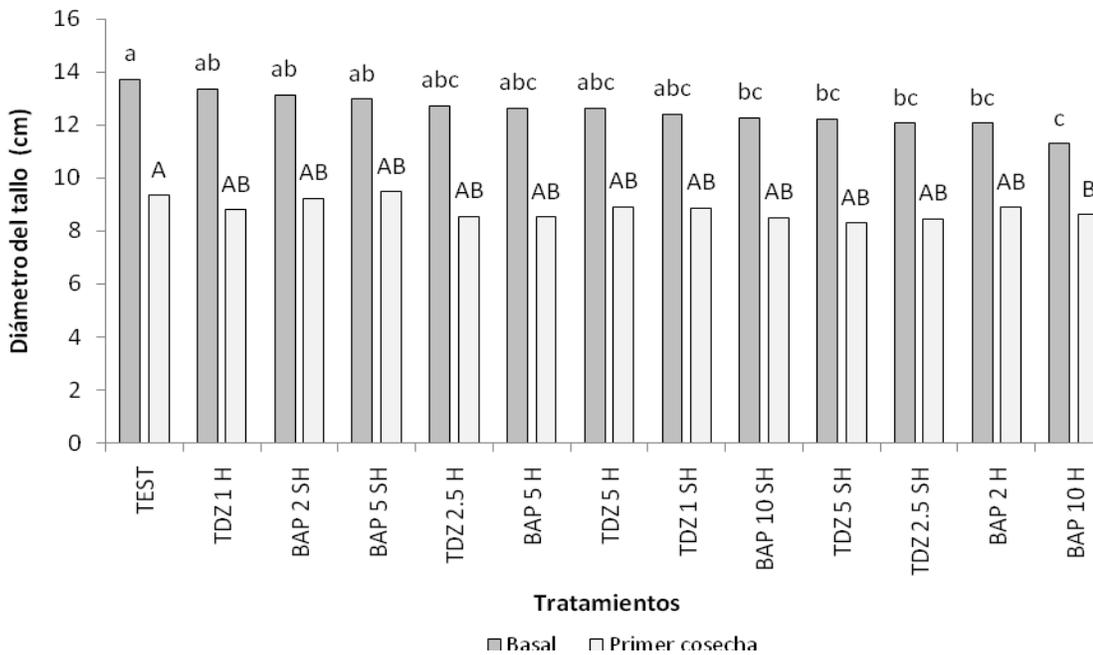
diámetro del brote padre por factores que influyen en la acumulación y distribución de sustancias almacenadas, como almidón y azúcares. Monder y Hetman (2011) evaluaron varias calidades de portainjertos de rosas y encontraron que sobre aquellos de mejor calidad se obtuvo la mayor masa y altura de los tallos. Por último, Espinoza y Vinueza (2009) encontraron en rosa variedad Blush una relación entre los mejores diámetros del portador y las mayores longitudes de los tallos florales obtenidos.

Figura 24. Producción de tallos ciegos a primera cosecha en **A** y detalles de la formación de tallos deformes en **B** y tallos ciegos en **C** en plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultados del experimento

Figura 25. Relación entre los diámetros del tallo basal y de los tallos florales cosechados de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiázurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultado de la investigación

5.2 Distribución de Masa Seca

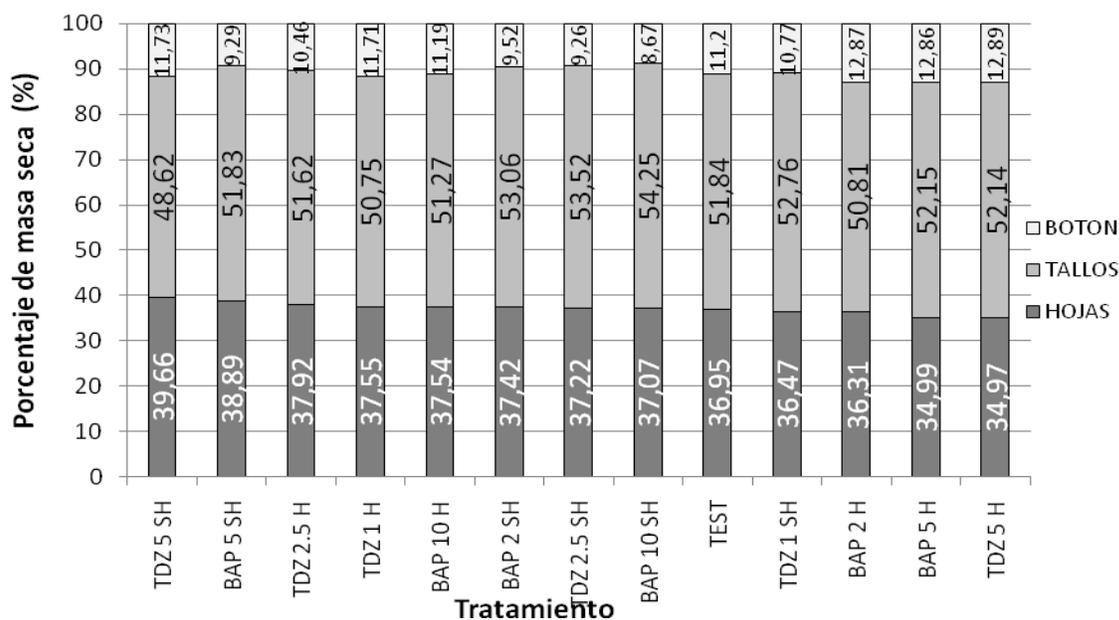
Los tratamientos cuyo porcentaje de masa seca de las hojas es el menor, como en los tratamientos aplicados con herida BAP 2.000 mg.L⁻¹, BAP 5.000 mg.L⁻¹ y TDZ 5.000 mg.L⁻¹, reasignarían un mejor porcentaje de masa seca a los botones florales (Figura 26)

5.3 Producción de tallos florales por planta en primera cosecha

En la Figura 27A se puede observar que la mayor cantidad de tallos florales cosechados por planta fue para los tratamientos aplicados con herida BAP 5.000 mg.L⁻¹ con 3,66 flores/planta, seguido por BAP 10.000 mg.L⁻¹ con 3,46 flores/planta; mientras que, la menor producción correspondió al tratamiento testigo, con 2,87 flores por planta. Lo que

equivale, respectivamente, a 27,5 o a un 20,5 % más producción para BAP a 5.000 y a 10.000 mg.L⁻¹, ambos tratamientos aplicados con uso de herida. En términos generales, los tratamientos de BAP aplicados con herida generan una mayor producción y los tratamientos de TDZ aplicados con herida generan una menor producción. Las dosis bajas de BAP y TDZ sin herida no impactan la producción.

Figura 26. Distribución de masa seca en tallos florales de primera cosecha de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



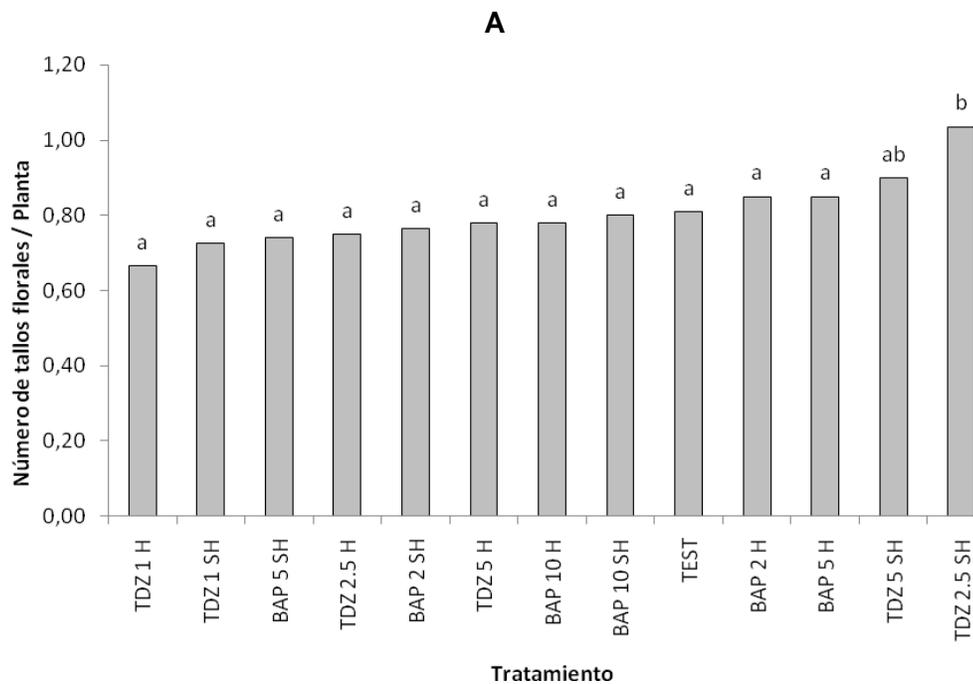
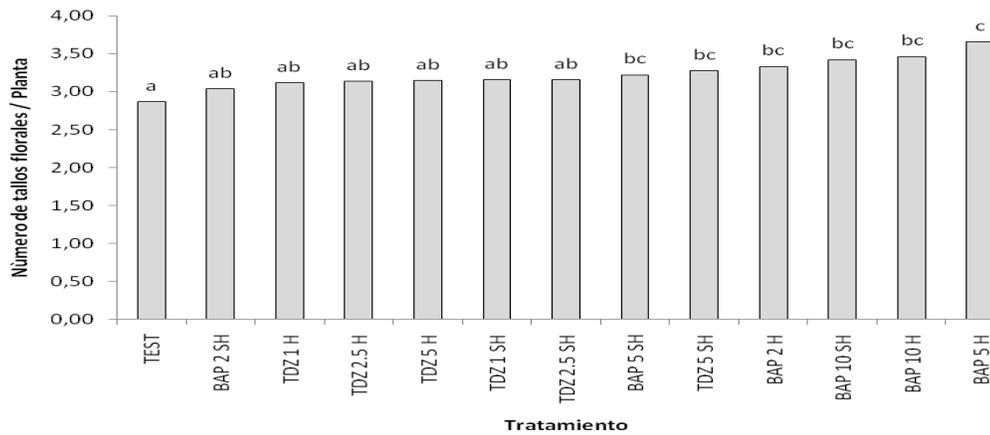
Fuente: Resultado de la investigación

5.3.1 Precocidad de la cosecha

Transcurridos 80 días del ciclo de producción, el tratamiento con TDZ 2.500 mg.L⁻¹ sin herida, aún mantenía el 33 % (1,03 flores/planta de 3,13 flores/planta) sin cosecharse. Mientras que en el tratamiento sin herida TDZ 5.000 mg.L⁻¹ quedaban 0,9 flores/planta de 3,27, equivalentes al 27,5 % de la producción, comparado con TDZ 1.000 mg.L⁻¹ con herida, tratamiento al cual le quedaban solamente 0,66 flores/planta de 3,12 flores/planta totales, que representan el 21% de la flor formada, evidenciando una rápida entrega de la cosecha (Figura 27B).

Los tratamientos TDZ a 2.500 y 5.000 mg.L⁻¹, ambos sin herida, y en los cuales se presentó una alta producción de brotes basales, la cosecha se demoraría debido a que la competencia entre la brotación retrasaría la formación de los tallos florales.

Figura 27. Producción de tallos florales a primera cosecha en **A** y tallos florales por planta sin cosechar, 80 días (12 semanas) después de la poda en **B** de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tidiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



B

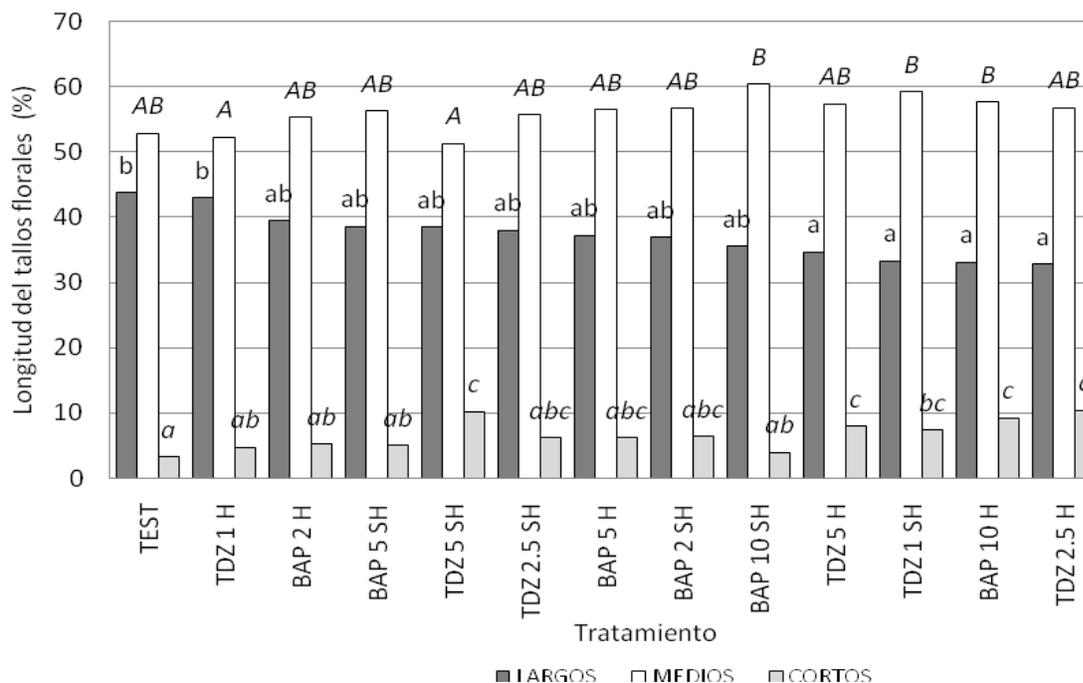
Fuente: Resultado de la investigación

5.3.2 Longitud comercial de los tallos

Finalmente en la Figura 28 se puede apreciar que los tratamientos que producen tallos florales más largos son los tratamientos testigo (43,8%), TDZ 1.000 mg.L⁻¹ con herida (42,96%) y BAP 2.000 mg.L⁻¹ con herida (39,47%), en comparación con el tratamiento TDZ 2.500 mg.L⁻¹ con herida, con el menor porcentaje (32,81%) de este tipo de flor.

La mayor proporción de tallos florales de longitud intermedia se genera con la aplicación de BAP a dosis alta (10.000 mg.L⁻¹), sin herida. Los tallos florales más cortos corresponden a los tratamientos con herida BAP 10.000 mg.L⁻¹ y TDZ 5.000 mg.L⁻¹ y a TDZ 2.500 y 1.000 mg.L⁻¹ sin herida.

Figura 28. Distribución de longitudes comerciales de los tallos florales cosechados de plantas de rosa variedad Freedom tratadas con Bencilaminopurina (BAP) y Tiazurón (TDZ) en tres dosis (x 1000), aplicadas con herida (H) y sin herida (SH).



Fuente: Resultado de la investigación

A realizar la aplicación de los tratamientos con BAP y TDZ en la base de las plantas de rosa, especialmente con herida, se estimula una rápida emisión de tallos basales. Este

fenómeno fue observado por Cárdenas (2006) en rosa variedad Verdy, en la cual se aceleró la brotación hasta en un 14%. En zarzamora, según Galindo et al. (2004), la aplicación de citoquininas, especialmente el TDZ, adelanta la brotación de yemas entre 7 y 15 días.

Cada yema estimulada podrá ser un tallo floral potencial. Según la presente investigación, la inducción de dichas yemas podrá estimularse con citoquinas; también, se deben tener en cuenta, entre otros factores, el genético, el climático y el nutricional, los cuales afectarán el tiempo a brotación (Pallo, 2017).

A pesar de estimular la generación de tallos ciegos, los tratamientos con BAP forman la mayor cantidad de tallos florales, aunque de menor longitud. En este estudio BAP es el mejor tratamiento, como lo muestran las cifras de producción por planta (Figura 27A).

La calidad de los tallos basales es importante debido a que el número y la calidad de la brotación lateral se correlacionan positivamente con el diámetro del nuevo brote (Latimer & Whipker, 2012). El diámetro del tallo es importante porque tallos gruesos forman brotes laterales de buen calibre, de los cuales se obtendrán mejores longitudes (Marcelis-van Acker, 1994). Los brotes de tallos basales gruesos crecen más rápido, con menos tiempo el desarrollo del tallo floral. Por tanto, los tallos basales gruesos translocan de manera más efectiva asimilados hacia los nuevos brotes. Por lo que, los tallos basales en el tratamiento testigo generaron tallos florales de mayor calibre y en menor cantidad que aquellos tallos basales incentivados con BAP; en razón a que poblaciones pequeñas tienen mayor tasa de crecimiento, por la mayor disponibilidad de recursos, en cuyo caso el comportamiento del crecimiento inicialmente es más rápido (Moreno-Medina et al., 2016). En cuanto a productividad, los mejores tratamientos son BAP a 5.000 y 10.000 mg.L⁻¹ con herida.

En la variedad de rosa Freedom, también tratada con BAP a 2.500, 5.000 y 10.000 mg.L⁻¹, se observó que el 57% de los tallos florales tenían un diámetro entre 9 y 12 mm, que corresponderían a tallos basales medianos (Gutiérrez, 2016). Para la misma variedad, en ensayos con fertilización, los mejores resultados se obtuvieron con calibres entre 10 y 12,3 mm (Salazar, 2017). En el presente estudio se confirma que para la var. Freedom, se obtienen tallos florales de mayor longitud sobre calibres superiores a 10,5 mm. En la variedad Vendela, con el uso de BAP se obtuvieron calibres de tallos basales entre 9,15 y 9,89 mm (Ayala, 2010).

Al aplicar BAP a 150 mg.L^{-1} en orquídeas, Wu y Chang (2012) observaron un mayor número de brotes inducidos pero de menor calibre. En rosa, variedades Madame Delbard y Golden Times, se observó que la mayor calidad se produjo en los tratamientos con un menor número de tallos basales (Avendaño & Pardo, 1992). Los tratamientos con dosis altas de TDZ generaron alta brotación de tallos basales con un calibre medio e indujeron formación de tallos ciegos, con predominio de tallos florales cortos y algún retraso en la cosecha. Sin embargo, Díaz (2007) evaluó 150 mg.L^{-1} de TDZ en rosa variedad Royalty y reportó beneficios aún sin usar la herida en su aplicación, por lo que sugiere aumentar la concentración del TDZ.

La biomasa de una planta en un momento determinado no sólo depende de su tasa de crecimiento sino también de la biomasa inicial, que viene determinada en los primeros estadios de desarrollo (Valladares, 2008) y, en el caso de la planta de rosa, estaría consolidada en los tallos portadores. La competencia entre los brotes particiona recursos que no permiten una mejor longitud de los tallos florales y, por otro lado, dichos recursos no son suficientes para formar más tallos florales. Los brotes ciegos generalmente tienen menos hojas, son más cortos y más delgados que los brotes florales (Särkkä, 2004).

Al aplicar 10.000 mg.L^{-1} de BAP en rosa variedad Vendela se obtuvieron 0,29 ciegos por planta (Ayala, 2010), y en la presente investigación con la variedad Freedom se indujeron 1,6 ciegos por planta. La aplicación de BAP acelera la brotación y permite obtener cosechas hasta con 11 días de antelación, lo que equivaldría a un 14% de ganancia en los ciclos y, por consiguiente, a un aumento de la productividad (Cárdenas, 2006).

La aplicación de las citoquininas fomenta brotación excesiva, en donde se incluyen los tallos ciegos, que con el detrimento de los recursos no alcanzan a formarse como tallos florales. En los tratamientos de BAP con dosis de 5.000 y 10.000 mg.L^{-1} con herida se observa mayor velocidad y cantidad de emisión de brotes, así como la mayor producción de área foliar y masa seca, reduciéndose el calibre y la longitud de tallos basales y de tallos florales. La técnica con herida se denomina rayado o método mecánico químico (Ayala, 2010), y es sugerida para ser implementada en concentraciones desde 1.000 hasta 10.000 mg.L^{-1} (Cárdenas, 2006; Gutiérrez, 2016).

Con respecto a la relación del diámetro del tallo basal con el tallo floral, Thornley (1999) trabajó en modelos con árboles para encontrar relación entre el calibre de los brotes y su longitud; al igual que Särkkä (2004) en rosa, observó la relación existente entre la calidad del basal y la de los brotes por ellos generados. En manzano, la longitud total de los

brotos fue mayor con porta injertos gruesos y medianos que con porta injertos delgados (Monder & Hetman, 2011). En cuanto a la partición de las reservas de carbono de tallos padres en el crecimiento de brotes axilares en rosa Marcellis-van Acker (1994) encontró que el diámetro del tallo hijo estaba estrechamente relacionado con el diámetro del brote padre, por factores que influyen en la acumulación y distribución de sustancias almacenadas, como almidón y azúcares. Monder y Hetman (2011) evaluaron varias calidades de portainjertos de rosa y encontraron que sobre aquellos de mejor calidad se obtuvo la mayor masa y altura de los tallos. Así mismo, en la variedad de rosa Blush se encontró una relación entre los mejores diámetros del portador y las mayores longitudes de tallos florales (Espinoza & Vinueza, 2009). Teniendo en cuenta las variables como longitud del tallo, que es uno de los parámetros más importantes en la calidad para algunas flores, rigidez de los tallos, tamaño de la flor, vida en florero, defectos, madurez, uniformidad y calidad del follaje, se puede establecer el grado de calidad de la rosa (Pallo, 2017). Por último, en la aplicación de las citoquininas en rosa, es necesaria la herida para el éxito en la promoción de la inducción de tallos basales; y se confirman resultados con otras variedades como High and Exotic, Orange Crush, Santana, Shogún y Sky Line, en las cuales se reportan diferencias significativas en la brotación de tallos basales al aplicar 10.000 mg.L^{-1} de BAP, con la generación de una herida de 2 mm de profundidad (Gutiérrez, 2016).

6. Conclusiones

1. El tipo de crecimiento de la variedad de rosa Freedom, se ajustó al modelo logístico confirmando trabajos anteriores.
2. El crecimiento de la longitud de los basales en el testigo sin la aplicación de las Cqs evaluadas describe la ausencia de competencia entre brotes que se refleja en una mayor longitud y crecimiento más rápido. Al no presentarse competencia entre la brotación los recursos se dirigen a tallos que crecen libremente.
3. Los tratamientos con dosis altas de TDZ generan menor longitud de los basales.
4. En los tratamientos de BAP con dosis 5.000 mg.L⁻¹ y 10.000 mg.L⁻¹ con herida se observa mayor velocidad y cantidad de emisión de brotes, así como la mayor producción de área foliar y materia seca reduciéndose el calibre y la longitud de los basales y de la cosecha. Esta técnica con herida se llama rayado o método mecánico químico.
5. La producción de área foliar se correlaciona con la masa seca producida y es incentivada por dosis altas y medias de BAP; por el contrario, plantas sin tratar y con aplicaciones de dosis bajas y medias de las hormonas sin herida no se percibe la señal y sus tejidos no se expanden.
6. La producción de un mayor número de brotes basales le confiere a esta brotación un menor calibre que sostiene una menor calidad de tallos que sobre estos portadores se producen.
7. La aplicación de las Cqs genera un aumento en los tallos ciegos al no ser suficientes los recursos para la formación de la flor de la brotación adicional generada por la aplicación de las hormonas.
8. Los tratamientos con BAP, a pesar de generar engeguamiento, aumentan la producción con una menor longitud de los tallos y se confirma que el mejor tratamiento con citoquinina para este estudio es el BAP como lo muestran las cifras de producción por planta.
9. Tallos basales con crecimiento natural en el testigo generan tallos de mayor calibre y en menor cantidad que aquellos basales incentivados con BAP. Los tratamientos con herida BAP 10.000 mg.L⁻¹ y BAP 5.000 mg.L⁻¹ son los mejores en cuanto a productividad

generando BAP 5.000 mg.L⁻¹ con herida tallos más largos que los producidos por BAP 10.000 mg.L⁻¹ también con herida.

10. Los tratamientos con mayores beneficios fueron aquellos aplicados con herida BAP 10.000 mg.L⁻¹, BAP 5000 mg.L⁻¹ y TDZ 5000 mg.L⁻¹ ya que al ponderar su producción y longitudes podrían generar ingresos económicos adicionales en un 5% para TDZ 5000 mg.L⁻¹ con herida, en un 15 % para BAP 10.000 mg. L⁻¹ con herida y en un 20 % para BAP 5.000 mg. L⁻¹ con herida, comparados con el manejo tradicional. Con este trabajo se verifica información antecedente sobre el uso de BAP, en la cual la mejor dosis de BAP en rosas fue de 9.950 mg.L⁻¹.

12. Las dosis altas de TDZ generan alta brotación con un calibre medio e inducen formación de ciegos, en su calidad predominan tallos cortos y se retrasa la cosecha.

7. Referencias

- Ahmad, I., Khalid, M., Khan, M., & Saleem, M. (2011). Morpho-physiological comparison of cut rose cultivars grown in two production systems. *Pakistan Journal of Botany*, 43(6), 2885–2890.
- Almaguer, G., Espinosa, J., Luna, A., & Paz, J. (2000). Aplicación de promotores de la brotación en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lind.) “Shiro” y “Santa Rosa”. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1), 111–115.
- Alvarado, H., Rodríguez, J., Calderón, G., & Cárdenas, E. (2000). Thidiazuron flower budbreak and ovary dimensions in Japanese plum (*Prunus salicina* L.) plum “SHIRO.” *Agrociencia*, 34, 321–327.
- Office of the Gene Technology Regulator (2009). The biology of hybrid tea rose (*Rosa x hybrida*). En: Documents of biology, Office of the Gene Technology Regulator - Australian Government. Consultado 15-04-2015 en <http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/biology-documents-1>
- Avendaño, E., Pardo, G., Daza, T., & Laverde, H. (1992). *Inducción de tallos basales en dos variedades de rosa con la citoquinina 6 BAP*. Tesis de Pregrado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ayala, P. (2010). *Evaluación de 4 métodos de inducción de basales en plantas maduras de rosa (Rosa spp) variedad Vendela en la Florícola Sigesa Flowers*. Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2003). *Fundamentos de fisiología vegetal*. (1a ed.). Barcelona: McGraw-Hill - Interamericana de España S.L.
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. (2a ed.). Barcelona: McGraw-Hill - Interamericana de España S.L.

- Barrientos, H., Del Castillo, C. & García, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 76–86.
- Benincore, M., Barbosa, V. & Fischer, G. (2000). Effect of thidiazuron and choline chloride bioregulators on yield and fruit quality of three apple (*Malus domestica* Borkh.) varieties. *Agronomía Colombiana*, 17(1-3), 91–98.
- Boumaza, R., Huché-Thélier, L., Demotes-Mainard, S., Le Coz, E., Leduc, N., Pelleschi-Travier, S., ... Guérin, V. (2010). Sensory profiles and preference analysis in ornamental horticulture: The case of the rosebush. *Food Quality and Preference*, 21(8), 987–997.
- Boyle, H. T. (1995). BA influences flowering and dry matter partitioning in shoots of “Crimson Giant” easter cactus. *American Society of Horticultural Science*, 30(2), 289–291.
- Bredmose, N., Kristiansen, K., Nørbæk, R., Christensen, L. & Hansen-Møller, J. (2005). Changes in concentrations of cytokinins (Cks) in root and axillary bud tissue of miniature rose suggest that local Ck biosynthesis and zeatin-type Cks play important roles in axillary bud growth. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24, 238. doi.org/10.1007/s00344-005-0050-x
- Buck-Sorlin, G., H. B. de Visser, P., Henke, M., Sarlikioti, V., Heijden, G., Marcelis, L., & Vos, J. (2011). Towards a functional–structural plant model of cut-rose: simulation of light environment, light absorption, photosynthesis, and interference with the plant structure. *Annals of Botany*, 108, 1121–1134.
- Calderón Z. G. & Rodríguez A. J. (1996). Revent (i.a. Thidiazurón) un nuevo estimulador de la brotación para durazno y ciruelo (p. 82). En: Memorias del XVI Congreso de fitogenética. Montecillos, México.
- Canales, E. (2008). *Cambios en crecimiento, producción y distribución de materia seca por efecto de promotores de brotación en durazno*. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Texcoco, México.

- Cárdenas, R. (2006). *Evaluación del efecto de la aplicación de citoquininas en yemas no apicales para inducir brotación en tallos de rosa con ciclo de crecimiento largo*. Tesis de Pregrado, Universidad de la Sabana, Bogotá, Colombia.
- Cárdenas-Hernández, J., Álvarez-Herrera, J., Barragán, E., & Rivera, C. (2010). Effect of gibberellic acid and 6-bencilaminopurine on bud development of cacao grafts (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Colombiana*, 28(1), 19–27.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Growth analysis of “Batavia” lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in a saline soil of the Bogota Plateau. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 41–48.
- Cheng, C.-Y. & Kieber, J. (2014). Cytokinin signaling in plants BT - molecular biology. In S. Howell (Ed.), *Molecular biology. The plant sciences*. (2a ed., pp. 269–289). New York: Springer. doi.org/10.1007/978-1-4614-7570-5_14
- Clavijo, J. (1989). Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*, 16,12–16.
- Morel, P., Crespel, L., Galopin, G., & Moulia, B. (2012). Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. *Scientia Horticulturae*, 135, 59–64.
- Crespel, L., Sigogne, M., Done`s, N., Relion, D., & Morel, P. (2013). Identification of relevant morphological, topological and geometrical variables to characterize the architecture of rose bushes in relation to plant shape. *Euphytica*, 191,129–140.
- Davies, P. J. (1995). The plant hormone concept: Concentration, sensitivity and transport. In P. J. Davies (Ed.), *Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology*. (1a ed., pp. 13–38). Dordrecht: Springer. doi.org/10.1007/978-94-011-0473-9_2
- Dayatilake, G., Palmer, J., & Tustin, D. (2011). Enhancing budbreak and axillary shoot development of “M.9” apple rootstock during the early period of stool-bed establishment. *Journal of Crop and Horticultural Science*, 39(4), 263–270.
- De Vries, D. & Dubois, L. (1983). Relations between time of sprouting of the scion in the nursery, the time of formation and number of basal bottom-breaks, and the number of harvested shoots of glasshouse rose clones on R. canina ‘Inermis’. *Scientia Horticulturae*, 21(4), 375–379.

- Díaz A. (2007). *Efecto de estimulantes de brotación en el cultivo de Rosal Cv. Royalty*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Dieleman, A. (1998). *Cytokinins and bud break in rose combination plants*. Tesis doctoral, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands.
- Dieleman, A., Verstappen, F., & Kuiper, D. (1998). Bud break and cytokinin concentration in bleeding sap of *Rosa hybrida* affected by the genotype of the rootstock. *Journal of Plant Physiology*, 152(4-5), 468–472.
- Doležal, K., Popa, I., Hauserová, E., Spíchal, L., Chakrabarty, K., Novák, O., Krystof, V., Voller J., Holub J., & Strnad, M. (2007). Preparation, biological activity and endogenous occurrence of N6-benzyladenosines. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 15(11), 3737–3747. doi.org/10.1016/j.bmc.2007.03.038
- Domínguez, M., Alpuche, A., Vasco, N., & Molphe, E. (2008). Effect of cytokinins on the in vitro propagation of Mexican Agaves. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 317–322.
- Dwivedi, S., Vanková, R., Motyka, V., Herrera, C., Zizkova, E., & Auer, C. (2010). Characterization of *Arabidopsis thaliana* mutant ror-1 (roscovitine-resistant) and its utilization in understanding of the role of cytokinin N-glucosylation pathway in plants. *Plant Growth Regulation*, 61(3), 231–242. doi.org/10.1007/s10725-010-9467-8
- Engels, C., Kirkby, E., & White, P. (2012). Mineral nutrition, yield and source–sink relationships. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. (3a ed., pp. 85 – 133). Amsterdam: Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00005-4
- Escobar, A. (2003). El cultivo de rosa y desarrollo de brotes basales. Consultado 01-06-2016 en <https://encolombia.com/economia/agroindustria/floricultura/rosa-cultivo-brotes-basales>.

- Espinoza R. & Vinueza H. (2009). Cinco métodos de manejo de plántulas para la inducción de brotación de basales en la variedad de rosa Blush de los Andes (*Rosa* spp). *La Granja: Revista de ciencias de la Vida*, 10(2), 47–55.
- Ferguson, B. & Beveridge, C. (2009). Roles for auxin, cytokinin, and strigolactone in regulating shoot branching. *Plant Physiology*, 149, 1929–1944.
- Fertichem. (2017). 6-N-BENCIL AMINOPURINA 6 BAP. Boletín Técnico. Consultado 15-05-2018 en <https://www.fertichem.mx/producto-bencil-amino.php>
- Flórez, R. V. J., Miranda, L. D., Chaves, C. B., Chaparro, T. L. A., Cárdenas, M. C. A., & Farías, A. A. (2006). Parámetros considerados en el análisis de crecimiento de rosa y clavel en los sistemas de cultivo en suelo y en sustrato. In V. J. Flórez, A. de la C. Fernández, D. Miranda, B. Chaves, & J. M. Guzmán (Eds.), *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana* (pp. 43–52). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Frébort, I., Kowalska, M., Hluska, T., Frébortova, J., & Galuszka, P. (2011). Evolution of cytokinin biosynthesis and degradation. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2431–2452.
- Freitas, J. & Díaz, M. (2004). Influencia de la técnica en la formación arquitectural de plantas de rosa (*Rosa* spp) para jardín. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 25, 53–60.
- Galindo-Reyes, M., González-Hernández, V., Muratalla-Lúa, A., Soto-Hernández, M., & Livera-Muñoz, M. (2004). Producción forzada en zarzamora “Comanche” mediante reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 205–209.
- Galuszka, P., Spíchal, L., Kopečný, D., Tarkowski, P., Frébortová, J., Šebela, M. & Frébort, I. (2008). Metabolism of plant hormones cytokinins and their function in signaling, cell differentiation and plant development. *Studies in Natural Products Chemistry*, 34, 203–264. doi.org/10.1016/S1572-5995(08)80028-2

- García, D. (2015). *Manejo de injertos en rosa, en una finca comercial de la sabana de Bogotá*. Tesis de Tecnóloga. Facultad de Ciencias básicas y Aplicadas, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia.
- González, M., Sánchez, Y., Flórez, V., & Chaves, B. (2013). Biomass distribution efficiency of rose cv. Charlotte grown in soil and substrates at second production peak. *Agronomía Colombiana*, 31(3), 304–313.
- Guo, B., Abbasi, B., Zeb, A., Xu, L., & Wei, Y. (2011). Thidiazuron: A multi-dimensional plant growth regulator. *African Journal of Biotechnology*, 10(45), 8984–9000.
- Gutiérrez, L. (2016). *Estudio experimental del uso de bencilaminopurina en tallos portadores de Rosa sp para la estimulación de brotes basales*. Tesis de Pregrado. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia.
- Hang, Y., Yang, H., & Jiao, Y. (2014). Regulation of inflorescence architecture by cytokinins. *Frontiers in Plant Sciences*, 5(669), 1. doi:10.3389/fpls.2014.00669.
- Hashemabadi, D. & Zarchini, M. (2010). Yield and quality management of rose (Rosa hybrid cv. Poison) with plant growth regulators. *Plants Omics Journal*, 3(6), 167–171.
- Hidalgo, L., Garzón, D., Flórez, V., & Herrera, A. (2012). Comparison of postharvest commercial products in two varieties of spray chrysanthemum on the Bogota Plateau. *Agronomía Colombiana*, 30(3), 403–410.
- Hirose, N., Takei, K., Kuroha, T., Kamada-Nobusada, T., Hayas, H., & Sakakibara, H. (2008). Regulation of cytokinin biosynthesis, compartmentalization, and translocation. *Journal of Experimental Botany*, 59(1), 75–83.
- Hu, J., Hu, Y., Chen, Y., & Yang, T. (2011). High performance liquid chromatography method residues analysis of thidiazuron in apple and soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 448–451. doi.org/10.1007/s00128-011-0383-z
- Huché-Thélier, L., Boumaza, R., Demotes-Mainard, S., Canet, A., Symoneaux, R., Douillet, O., & Guérin, V. (2011). Nitrogen deficiency increases basal branching

- and modifies visual quality of the rose bushes. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 325–334. doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.007
- Hunt, R. (1979). Plant growth analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function. *Annals of Botany*, 43(2), 245–249.
- Hunt, R., Causton, D., Shipley, B., & Askew, A. (2002). A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*, 90(4), 485–488. doi.org/10.1093/aob/mcf214
- Iqbal, N., Masood, A., & Khan, N. A. (2012). Phytohormones in salinity tolerance: Ethylene and gibberellins cross talk. In N. Khan, R. Nazar, N. Iqbal, & N. Anjum (Eds.), *Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants*. (1a ed., pp. 77–98). Berlin: Springer. doi.org/10.1007/978-3-642-25829-9_3
- Jafari, N., Othman, R., & Khalid, N. (2011). Effect of benzylaminopurine (BAP) pulsing on in vitro shoot multiplication of *Musa acuminata* (banana) cv. Berangan. *African Journey of Biotechnology*, 10(13), 2446–2450. doi:10.5897/AJB10.1149
- Jayroe-Coumoyer, L. & Newman, S. (1995). Stimulation of basal and axillary bud formation of container-grown hybrid tea roses. *Journal of Environmental Horticulture*, 13(1), 47–50. doi.org/10.24266/0738-2898-13.1.47
- Kamada-Nobusada, T. & Sakakibara, H. (2009). Molecular basis for cytokinin biosynthesis. *Phytochemistry*, 70(4), 444–449. doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.02.007
- Karanov, E., Iliev, L., Georgiev, G., Tsoleva, M., Alexieva, V., & Puneva, I. (1992). Physiology and application of phenylurea cytokinins. In C. Karssen, L. van Loon, & D. Vreugdenhil (Eds.), *Progress in Plant Growth Regulation: Proceedings of the 14th International Conference on Plant Growth Substances*. (Vol 13, pp. 842–851). Dordrecht: Springer. doi.org/10.1007/978-94-011-2458-4_103
- Khayat, E. & Zieslin, N. (1982). Environmental factors involved in the regulation of sprouting of buds in rose plants. *Journal of Experimental Botany*, 33(6), 1286–1292. doi.org/10.1093/jxb/33.6.1286
- Kieber, J. & Schallerb, G. (2014). Cytokinins. In C. Sornerville, & E. Meyerowitz (Eds.). *The Arabidopsis Book*. (pp. 14). Rockville: American Society of Plant Biologists.

- Koprna, R., De Diego, N., Dundálková, L., & Spíchal, L. (2015). Use of cytokinins as agrochemicals. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 24(3), 484–492. doi.org/10.1016/j.bmc.2015.12.022
- Kunikowska, A., Byczkowska, A., Doniak, M., & Kaz'mierczak, A. (2013). Cytokinins résumé: their signaling and role in programmed cell death in plants. *Plant Cell Reports*, 32(6), 771–780. doi.org/10.1007/s00299-013-1436-z
- Laffitte, O., Nápoles, L., Pérez, A., Peralta, N., & Trujillo, R. (2004). Adventitious shoot regeneration from in vitro cultured leaves of guava (*Psidium guava* L.). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(2), 54–61.
- Latimer, J. & Whipker, B. (2012). *Selecting and using plant growth regulators on floricultural crops*. (1a ed.). College of Agriculture and Life Sciences. Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Liu, G. & Bao, M. (2003). Adventitious shoot regeneration from in vitro cultured leaves of London plane tree (*Platanus acerifolia* Willd.). *Plant Cell Reports*, 21(7), 640–644. doi.org/10.1007/s00299-002-0569-2
- Lomeli, G. (1998). *Efecto de thidiazurón (TDZ) y aceite mineral como compensador de frío en la brotación de manzano (Malus silvestris, mili.) en la región de Zacapoaxtla (Puebla)*. Tesis de Pregrado, División de Ciencias Agronómicas, Universidad de Guadalajara, México.
- Lu, C.Y. (1993). The use of thidiazuron in tissue culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 29, 92–96. doi.org/10.1007/BF02632259
- Malgorzata, A., Domagalska, X., & Leyser, O. (2011). Signal integration in the control of shoot branching. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 12, 211–221. doi.org/10.1038/nrm3088
- Marcelis-van Acker, C. (1994). Effect of assimilate supply on development and growth potential of axillary buds in roses. *Annals of Botany*, 73(4), 415–420. doi.org/http://dx.doi.org/10.1006/anbo.1994.1051

- Marcelis-van Acker, C. (1993). Morphological study of the formation and development of basal shoots in roses. *Scientia Horticulturae*, 54(2), 143–152. doi.org/10.1016/0304-4238(93)90062-U
- Marcelis-van Acker. (1994). *Axillary bud development in rose*. Tesis de Maestría. Department of Plant Cytology and Morphology, Arboretumlaan, Wageningen, The Netherlands.
- Martínez, D. (2010). *Evaluar la efectividad de la hormona Proyem a tres dosis para el basaleo en el rosal (Rosa sp) en tres variedades (Freedom, Forever Young, Sexy Red)*. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Matsumoto-Kitano, M., Kusumoto, T., Tarkowski, P., Kinoshita-Tsujimura, K., Václavíková, K., Miyawaki, K., & Kakimoto, T. (2008). Cytokinins are central regulators of cambial activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America*, 105(50), 20027–20031. doi.org/10.1073/pnas.0805619105
- Mazid, M., Khan, T., & Mohammad, F. (2011). Cytokinins A classical multifaceted hormone in plant system. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(4), 347–368.
- Monder, M. & Hetman, J. (2011). The influence of the thickness of rootstock and scions on the growth and quality of the obtained shrubs of two *Rosa x hybrida* cultivars. *Hortorum Cultus*, 10(1), 185–195.
- Morales, A., Rodríguez, D., Rodríguez, S., Ventura, V., & Lima, M. (2016). Influencia del número de tallos por planta en el crecimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Atlas. *Revista Agricultura Tropical*, 2(1), 29–40.
- Morel, P., Crespel, L., Galopin, G., & Moulia, B. (2012). Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. *Scientia Horticulturae*, 135, 59–64. doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.007.
- Moreno-Medina, B. L., Casierra-Posada, F., & Blankle, M. (2016). Índices de crecimiento en plantas de mora (*Rubus alpinus* Macfad) bajo diferentes sistemas de poda.

- Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 28–39. doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4457.
- Moreno, Á., Mogollón, M., Núñez, C., Villota, T., & Torres, J. (2013). Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. andigena). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 172–185. doi.org/10.18359/rfcb.344
- Murthy, B., Murch, S., & Saxena, P. (1998). Thidiazuron: a potent regulator of in vitro plant morphogenesis. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 34, 267–275. doi.org/10.1007/BF02822732
- Nooden, L., Singh, S., & Letham, D. (1999). Correlation of xylem sap cytokinin levels with monocarpic senescence in soybean. *Plant Physiology*, 93, 33–39. doi.org/10.1104/pp.93.1.33
- Ohkawa, K. (1984). Effects of benzyladenine on bud break of roses. *Scientia Horticulturae*, 24(3-4), 379–383. doi.org/10.1016/0304-4238(84)90123-7
- Olivares, H. (2010). *Sombra artificial y aplicación de thidiazurón en el crecimiento y fisiología de la vainilla (Vanilla planifolia andrews)*. Tesis de Maestría, Instituto de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- Pallo, M. (2017). *Estudio fenológico y productivo de diez variedades de rosa (Rosa sp.), en el tercer y cuarto ciclo de producción en Cayambe*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Parismoreno, L., Gordillo, F., & Santos, E. (2016). Determinación de thidiazurón (TDZ) para la fase de multiplicación in vitro de caimito (*Chrysophyllum cainito* L.). *Yachana Revista Científica*, 5(2), 25–31. doi.org/10.1234/yach.v5i2.374
- Pérez-Tornero, O., Egea, J., Vanoostende, A., & Burgos, L. (2000). Assessment of factors affecting adventitious shoot regeneration from in vitro cultured leaves of apricot. *Plant Science*, 158(1–2), 61–70. doi.org/10.1016 / s0168-9452 (00) 00303-4

- Rasouli, A., Ahmadi, N., Behmanesh, M., & Daneshi, M. (2015). Effects of BA and TDZ on postharvest quality and expression of laccase and aquaporin genes in cut rose "Sparkle." *South African Journal of Botany*, 99, 75–79.
doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.191
- Sakakibara, H., Takei, K., & Hirose, N. (2006). Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development. *Trends in Plant Science*, 11(9), 440–448. doi.org/10.1016/j.tplants.2006.07.004
- Salazar, F. (2017). *Respuesta a tres programas de fertilización en el cultivo de rosa (Rosa sp.) Var. Freedom*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Särkkä, L. (2004). *Yield, quality, and vase life of cut roses in year-round greenhouse production*. (1a ed.). Department of Applied Biology. University of Helsinki, Finland.
- Steklov, M., Lomin, S., Osolodkin, D., & Romanov, G. (2013). Structural basis for cytokinin receptor signaling: an evolutionary approach. *Plant Cell Reports*, 32, 781–793. doi.org/ 10.1007/s00299-013-1408-3
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. (2a ed.). Sunderland: Sinauer Associates Publishers.
- Talamini, C., Ernani, P., Bassay, L., & Aparecida, C. (2002). Thidiazuron effects on shoot growth, return bloom, fruit set and nutrition of apples. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(10), 1365–1371. doi.org/10.1590/S0100-204X20 020010000
- Thornley, J. (1999). Modelling stem height and diameter growth in plants. *Annals of Botany*, 84(2), 195–205. doi.org/10.1006/anbo.1999.0908
- Valladares, F. (2008). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (2a ed). Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- Vandepierre, N. (2011). *Effect of thidiazuron on the quality and berry size of Red Globe grapes*. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencia Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- Van Staden, J., Zazimalova, E., & George, E. (2008). Plant Growth Regulators II: Cytokinins, their analogues and antagonists. In E. George, M. Hall, & G. J. De Klerk (Eds.), *Plant propagation by tissue culture*. (3a ed., pp. 205–226). Dordrecht: Springer.
- Vylíčilová, H., Husičková, A., Spíchal, L., Srovnal, J., Doležal, K., Plíhal, O., & Plíhalová, L. (2015). C2-substituted aromatic cytokinin sugar conjugates delay the onset of senescence by maintaining the activity of the photosynthetic apparatus. *Phytochemistry*, 122, 22–33. doi.org/ 10.1016 / j.phytochem.2015.12.001
- Wilkinson, S., Kudoyarova, G., Veselov, D., Arkhipova, T., & Davies, W. (2012). Plant hormone interactions: innovative targets for crop breeding and management. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3499–3509. doi.org/ 10.1093 / jxb / ers148
- Wu, P., & Chang, D. (2012). Cytokinin treatment and flower quality in Phalaenopsis orchids: Comparing N-6-benzyladenine, kinetin and 2-isopentenyl adenine. *African Journal of Biotechnology*, 11(7), 1592–1596. doi.org/10.5897/AJB11.2472
- Yaish, M., Guevara, D., Kereamy, E., & Rothstein, S. (2010). Axillary shoot branching in plants. In E. Pua & M. Davey (Eds.), *Plant developmental biology – biotechnological perspectives*. (1a ed., pp. 37–52) Berlin: Springer. doi.org/10.1007/978-3-642-02301-9_3
- Yeo, K.-H., Cho, Y., & Lee, Y.-B. (2011). Estimation of growth and yield for single-stemmed rose “Vital” in a single stem system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52(5), 455. doi.org/10.1007/s13580-011-0146-0
- Zieslin, N. & Algom, R. (2004). Alteration of endogenous cytokinins in axillary buds of conventionally grown greenhouse rose plants. *Scientia Horticulturae*, 102(3), 302–309. doi.org/10.1016/j.scienta.2004.02.006