



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Análisis de crecimiento y comportamiento de
los nutrientes en clavel (*Dianthus
caryophyllus* L.) variedad Delphi en un
sistema de cultivo en sustrato en la sabana
de Bogotá**

Sandro de Jesús Pérez Jiménez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad Agronomía, Escuela de Postgrados
Bogotá, Colombia

2011

**Análisis de crecimiento y comportamiento de
los nutrientes en clavel (*Dianthus
caryophyllus* L.) variedad Delphi en un
sistema de cultivo en sustrato en la sabana
de Bogotá**

Sandro de Jesús Pérez Jiménez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencias Agrarias

Director (a):

Víctor Julio Flórez R.

Línea de Investigación:

Fisiología de Cultivos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad Agronomía, Escuela de Postrados
Bogotá, Colombia

2011

A Jehová Dios por iluminarme y brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica, haciéndome un hombre más íntegro y dispuesto a compartir con mi prójimo todo lo aprendido.

A mi madre Adalía por su paciencia y apoyo incondicional. A mi padre Enrique q.e.p.d. por haberme enseñado la importancia de la educación y proyectar a través de este hacer mi proyecto de vida.

A mis hermanos, sobrinos y demás familiares por su amor, cariño y ánimo constante para cumplir esta nueva meta.

A mis amigos y compañeros por su apoyo, colaboración e incondicional ayuda en el desarrollo de mis estudios, infinitos agradecimientos.

Sandro de Jesús Pérez Jiménez

Agradecimientos

El autor desea expresar sus agradecimientos:

A la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y Facultad de Agronomía por permitirme ser parte de esta gran familia académica; así como a las personas y entidades que gracias a su decidida colaboración y apoyo hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

Al profesor Víctor Julio Flórez R. por la dirección del trabajo, por su acertada asesoría y consejería en la realización del mismo.

A Ceniflores y Sena CBA por brindarme la posibilidad de adelantar mi trabajo de grado en su proyecto "Producción más limpia de rosa (*Rosa* sp.) y clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) con dos técnicas de cultivo sin suelo en la Sabana de Bogotá".

A mis profesores de la Facultad de Agronomía, a los compañeros de maestría, de pregrado y a los aprendices del Sena por contribuir con sus enseñanzas, disertaciones y ayuda incondicional a realizar este trabajo.

Resumen

El uso del sistema sin suelo en clavel se ha venido implementando como una alternativa en fincas donde el suelo es limitante para el establecimiento y manejo del cultivo, ya sea por enfermedades o porque las propiedades físicas y químicas del mismo no son adecuadas para el desarrollo del cultivo. El objetivo de esta investigación fue la caracterización del comportamiento fisiológico a través del análisis de crecimiento y la determinación de nutrientes de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en un sistema de cultivo sin suelo en la zona de Sabana Occidente, municipio de Mosquera. En el sistema de cultivo sin suelo se emplearon como sustratos (tratamientos): cascarilla de arroz quemada, cascarilla de arroz 65% - fibra de coco 35% y cascarilla de arroz 35% - fibra de coco 65% y suelo. Se determinaron el índice de área foliar (IAF), la masa seca foliar, la masa seca por órganos (hojas, tallos y botón floral), la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Basándose en las variables evaluadas se determinaron las curvas de crecimiento, las cuales se ajustaron a un modelo de crecimiento logístico. A partir de un plan comercial de fertilización para el cultivo de clavel se determinaron los contenidos en planta completa de macro (N, P, K, Ca, Mg, S) y microelementos (Fe, Cu, Zn, B, Mo) en las etapas fenológicas denominadas “*pinch*” (semana 5), “transición de vegetativo a floral” (semana 11 y 15), “pico de desbotone” (semana 22) y “punto de corte” (semana 27 y 30). El análisis de crecimiento mostró que en cuanto a la masa seca total las plantas establecidas en los diferentes tratamientos no mostraron diferencias significativas. La TAN disminuyó con la edad de la planta en todos los tratamientos e igual comportamiento mostró la TCC, con disminuciones a partir de la semana 17 (84 ddp) hasta el final del primer pico de cosecha (semana 32). Respecto al comportamiento de los nutrientes, éstos mostraron variación en su concentración en los tejidos de planta completa con el transcurso de cada etapa fenológica del cultivo. Los valores de N fueron bajos, según los rangos preestablecidos. Los contenidos de P, Mg, Fe y Zn presentaron valores excesivos en todos los tratamientos y etapas fenológicas evaluados. Valores entre los rangos predeterminados se obtuvieron para los elementos Ca, Cu, Mn y B,

mientras que el K mostró valores normales hasta la semana 22 y posteriormente deficientes.

Palabras clave: Cultivo sin suelo, flor de corte, concentración de nutrientes, estadios fenológicos, macro elementos, micro elementos.

Abstract

The use of soil less cropping system has been implemented as an alternative in farms carnation growers in which soil has become a limiting factor for the establishing and handling of the growth, whether for diseases or, because its physical or chemical properties which might not be suitable for the development of the crop. The objective of this research was the characterization of the physiological behavior through the growth analysis and the determination of nutrients from the standard carnation cv. Delphi, growers in a soilless cropping system in Mosquera municipality, a nearby town in the west area of the Bogotá plateau. 100% burned rice husk, 65% burned rice husk plus 35% coconut fiber, 35% burned rice husk plus 65% coconut fiber and soil were used as substrates (treatments) in the soilless cropping system. Based on these data, the following parameters was calculated: leaf area index (LAI), dry foliar mass, dry mass by plant organs (leaf, stem, and flower bud), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), and the crop growth rate (CGR). The growth curves of the crop based on the evaluated variables were adjusted by a logistic growth model. From an usual plan for carnation crop fertigation contents with macro-elements (N, P, K, Ca, Mg, S) and micro-elements (Fe, Cu, Zn, B, Mo) were determined in whole plant at different phenological stages which are known as "pinch" (5th week), "vegetative-to-floral transition" (11th and 15th week), disbudding (22nd week) and cut point (27th and 30th week). There weren't significant differences in the total dry mass of the plant material established in the different treatments of study. Like the NAR, CGR decreased with the age plant in all treatments, with CGR decreasing from the week 17(84 dap) until the end first crop point (32th week). Regarding the performance of the nutrients, they varied in their concentration in whole plant tissues with the passage of each phenological stage. The N showed lower values according to the established ranges. The P, Mg, Fe, and Zn showed excessive

- X Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá
-

values in all treatments and phenological stages. Ca, Cu, Mn, and B showed normal values according to the established ranges, as K showed normal values until week 22, after then, was below bottom range values.

Keywords: Soilless crop, cut flower, nutrient concentration, phenological stages, macro elements, micro elements.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XVII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIX
Introducción	1
1. Capítulo 1. Estado del Arte	3
1.1 Ventajas cultivo sin suelo CSS	3
1.2 Sustratos.....	4
1.2.1 Tipos de sustratos	5
1.2.2 Propiedades químicas de los sustratos	8
1.3 Análisis de contenido de elementos en tejidos vegetales	15
1.4 Análisis de crecimiento.....	16
1.4.1 Índices de crecimiento.....	18
1.5 Asimilación de nutrientes minerales	19
2. Capítulo 2. Análisis del crecimiento de clavel estándar cv. Delphi en sistemas de cultivo sin suelo, en condiciones de la sabana de Bogotá	23
Resumen	23
2.1 Materiales y Métodos	24
2.1.1 Ubicación	24
2.1.2 Material vegetal	24
2.1.3 Fertirriego	25
2.1.4 Variables evaluadas	26
2.1.5 Diseño experimental.....	26
2.2 Resultados y discusión.....	27
2.2.1 Area foliar (AF)	27
2.2.2 Masa seca foliar	32
2.2.3 Masa seca de los tallos	34
2.2.4 Masa seca del botón	35
2.2.5 Masa seca total	37
2.2.6 Tasa relativa de crecimiento (TRC)	38
2.2.7 Índice de área foliar (IAF).....	40
2.2.8 Tasa de asimilación neta (TAN).....	41
2.2.9 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	43

XII	Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (<i>Dianthus caryophyllus</i> L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá	
-----	---	--

3.	Capítulo 3. Evaluación de los niveles de concentración de nutrientes, en los diferentes estadios de desarrollo fenológico de clavel cv. Delphi, cultivado en condiciones de la sabana de Bogotá	47
	Resumen	47
3.1	Materiales y métodos	48
3.1.1	Ubicación	48
3.1.2	Material vegetal	48
3.1.3	Fertirriego	48
3.1.4	Sustratos	50
3.1.5	Variables evaluadas	51
3.1.6	Diseño experimental	52
3.2	Resultados y discusión	52
3.2.1	Composición química de los sustratos	52
3.2.2	Concentración de nutrientes en la planta por periodo fenológico	54
3.2.3	Evolución de la concentración de nutrientes en la planta	63
3.2.4	Correlación entre la concentración de los nutrientes en las plantas	79
3.2.5	Correlación entre la concentración de los nutrientes y var. crecimiento	81
4.	Conclusiones y recomendaciones	87
	Bibliografía	91

Lista de figuras

Pág.

Figura 2-1: Comportamiento del área foliar y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo 31

Figura 2-2: Comportamiento de la masa seca foliar y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo 33

Figura 2-3: Comportamiento de la masa seca de los tallos florales y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo 35

Figura 2-4: Comportamiento de la masa seca del botón floral y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo 36

Figura 2-5: Comportamiento de la masa seca total y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo 38

XIV Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

Figura 2-6: Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo..... 39

Figura 2-7: Comportamiento del índice de área foliar IAF en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco..... 41

Figura 2-8: Comportamiento de la tasa de asimilación neta (TAN) en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo..... 43

Figura 2-9: Comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo..... 44

Figura 3-1: Promedio de la composición química de los sustratos cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 53

Figura 3-2: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 5 de cultivo (*pinch*), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 56

Figura 3-3: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 11 (primera fase de transición de vegetativo a floral) cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 58

Figura 3-4: Promedios de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 15 (segunda fase de transición de vegetativo a floral), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 59

Figura 3-5: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 22 (etapa fenológica pico de desbotone), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 60

Figura 3-6: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 27 (primera fase de la etapa fenológica punto de corte) ,cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 62

Figura 3-7: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 30 (segunda fase de la etapa fenológica punto de corte), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo..... 63

Figura 3-8: Evolución del contenido de los macronutrientes N,P,K en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo..... 67

Figura 3-9: Evolución del contenido de los macronutrientes Ca, Mg y S en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla

XVI Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo..... 71

Figura 3-10: Evolución del contenido de los microelementos Cu, Fe y Mn en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo..... 74

Figura 3-11: Evolución del contenido de los microelementos Zn y B en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo..... 77

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Condiciones de pH de diferentes materiales usados como sustratos.....	9
Tabla 1-2: Capacidad de intercambio catiónico CIC de algunos sustratos expresados en mmol.kg ⁻¹ de materia seca	10
Tabla 1-3: Valores de la relación C/N en diferentes materiales orgánicos.....	13
Tabla 1-4: Datos analíticos de la composición y condiciones químicas de los algunos sustratos.....	14
Tabla 2-1: Análisis de caracterización química de la calidad de agua para riego (proveniente del reservorio) aplicada en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi	25
Tabla 2-2: Fórmulas de fertilizantes (mg.L ⁻¹) aplicadas en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi	25
Tabla 2-3: Valores estimados de los parámetros considerados en el modelo logístico, derivados del área foliar; masas secas foliar, del tallo, del botón y total, y del índice de área foliar de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.....	29
Tabla 3-1: Análisis de caracterización química de la calidad de agua para riego (proveniente del reservorio) aplicada en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi	49
Tabla 3-2: Fórmulas de fertilizantes (mg.L ⁻¹) aplicadas en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi	50

XVIII Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

Tabla 3-3: Análisis de caracterización química de los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco	50
Tabla 3-4: Análisis de caracterización química del suelo sembrado en clavel cv. Delphi	51
Tabla 3-5: Valores de probabilidad de la prueba F en el análisis de varianza para la caracterización química inicial de los sustratos	52
Tabla 3-6: Valores de probabilidad de la prueba F en el análisis de varianza para cada periodo fenológico y elemento en evaluación de extracción en clavel estándar cv. Delphi, cultivado en suelo y en sustratos	55
Tabla 3-7: Rangos de suficiencia del clavel cultivado en la Sabana de Bogotá. Datos con base en masa seca (Ortega, 1997)	64
Tabla 3-8: Matriz de correlación de la concentración entre los diferentes nutrientes en plantas de clavel cv. Delphi	80
Tabla 3-9: Coeficientes de correlación (r) entre los parámetros de crecimiento y la concentración de macro y micro nutrientes en plantas de clavel var Delphi	81

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CSS	Cultivo sin suelo
cv.	Cultivar
TAN	Tasa de asimilación neta
TCC	Tasa de crecimiento de cultivo
IAF	Índice de área foliar
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
AF	Área Foliar
TRC	Tasa relativa de crecimiento
d dp	Días después del pinch
100CAQ	100% cascarilla de arroz quemada
65CAQ	65% cascarilla de arroz quemada - 35% fibra de coco
35CAQ	35% cascarilla de arroz quemada - 65% fibra de coco

Introducción

En Colombia el sector floricultor es uno de los mejores ejemplos de integración exitosa al mercado global. El cultivo de clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) es una de las especies florícolas de mayor demanda mundial. Para el país, segundo exportador en el mundo, representa el 15,6 % de las exportaciones totales, alcanzando aproximadamente US \$ 128 millones (Asocolflores, 2007).

En los últimos años la floricultura, así como la olericultura intensiva, fundamentalmente de los países desarrollados, ha sufrido grandes cambios, traducidos en la necesidad de incrementar las producciones para satisfacer la demanda de los mercados y para mantener la rentabilidad de estos sistemas productivos. En este sentido, la respuesta se ha dado en el control de la nutrición vegetal, mejorando su eficiencia gracias a los sistemas de cultivo sin suelo, con los que se ha podido eliminar el efecto amortiguador ejercido por el suelo y así someter la plantación a las condiciones deseadas de fertirrigación.

En la Sabana de Bogotá, como alternativa de manejo de problemas fitosanitarios en el cultivo de clavel, se ha venido implementando la utilización de sistemas de cultivo en sustratos. Sin embargo, esta alternativa genera impactos ambientales negativos por la no reutilización de los drenajes, con vertimiento de aguas y sales fertilizantes a los ecosistemas, estimados en $4.200.000 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ y $2.000 \text{ ton} \cdot \text{año}^{-1}$, respectivamente.

Los cultivos sin suelo pueden funcionar como sistemas abiertos o cerrados. El sistema abierto se emplea más en producciones de flores en Colombia, donde se presentan pérdidas de solución nutritiva como excedente, y el sistema cerrado cuenta con un proceso de recirculación de los nutrientes, aportándolos de forma más o menos continua (Alarcón, 2000). En la actualidad, se dispone de poca información sobre el comportamiento nutricional del clavel cultivado en sustratos, y aún menos, de la variedad evaluada.

En la presente investigación se evaluó el crecimiento y comportamiento de las concentraciones de nutrientes en plantas de clavel, cv. Delphi en un sistema de cultivo en sustrato para condiciones de la Sabana de Bogotá. Los parámetros de evaluación se presentan, disertan y comentan en los capítulos 2 y 3 del documento.

El segundo capítulo presenta análisis y curvas de crecimiento de clavel estándar cv. Delphi en sistema de cultivo sin suelo o cultivado en sustratos. Se analizarán las variables fisiológicas tasa de asimilación neta (TAN), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) e índice de área foliar (IAF), relacionando el efecto causado por los sustratos utilizados.

En el tercer capítulo se muestra el comportamiento de los nutrientes en clavel cv. Delphi, a través de la presentación de las Curvas de Asimilación de Nutrientes para cada estadio fenológico por sustrato y; curvas indicadoras de disponibilidad de nutrientes para cada sustrato durante todo el ciclo del cultivo a primer pico de cosecha.

1.Estado del Arte

Por cultivo sin suelo se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutritiva. La terminología es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos, que es como coloquialmente más se le conoce. Fue el Dr. W.F. Gericke el que acuñó la palabra “hidropónico” para designar este tipo de cultivo. Cultivo hidropónico procede de las letras griegas hydro (agua) y ponos (trabajo), literalmente trabajo en agua, este término es conocido mundialmente y únicamente varía la pronunciación (Steiner A., 1968; citado por Abad, 1997). Se consideran sistemas de cultivo hidropónico, aquellos que se desarrollan en una solución nutritiva y a los sistemas que cultivan en sustratos orgánicos e inorgánicos, como cultivo sin suelo. Existen incluso autores que prefieren no incluir el cultivo en sacos de turba como sistemas de cultivo sin suelo. La terminología “Cultivo sin Suelo” es empleada literalmente en otros idiomas, *soiless culture*, *culture senza terreno*, *culture sans sol*.

Desde un punto de vista práctico, los cultivos hidropónicos pueden clasificarse en: cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico) (Abad y Noguera, 1997).

1.1 Ventajas cultivo sin suelo CSS

a) La nutrición y uso del agua está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en suelo. Se emplea una solución nutritiva directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico. Por ejemplo, en condiciones mediterráneas en cultivos de judías y tomate en sacos de perlita sin o con recirculación se han obtenido eficiencias medias del uso del agua, referidas a dos años de cultivo, de 84,5 frente 48,5 L Kg⁻¹ en judía y 54,8 frente a 37,9 L Kg⁻¹ en tomate respectivamente en CSS abierto y cerrado (García, 1997).

4 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

b) En sistemas cerrados, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua y fertilizantes. Por el hecho de tener controlados dichos drenajes se evita la contaminación de suelos y acuíferos. Por ejemplo, en un cultivo de rosas para flor cortada Raviv *et al.* (1998) refieren una reducción de la aportación del 43% de nitratos, 37% de potasio y 47% de fósforo, en un CSS con recirculación respecto de otro sin recirculación.

c) Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos y procedentes de residuos, como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, etc., con muchas posibilidades y con posibles soluciones por explotar a nivel local.

d) Al emplear en la mayor parte de los casos sustratos prácticamente inertes biológicamente (con ausencia de enfermedades típicas del suelo), convierten al sistema de cultivo sin suelo, como una buena alternativa al empleo de desinfectantes.

e) Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales. Se suprimen los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de arvenses, mejorando en general las condiciones de trabajo.

f) Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.

g) Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto, sin embargo se han detectado pérdidas cualitativas y cuantitativas de productividad para el cultivo de rosa por Ehret *et al.* (2005) en estos sistemas, producto más a desarreglos y desequilibrios nutritivos que a la acumulación de elementos no nutritivos o a los efectos osmóticos de la salinidad.

1.2 Sustratos

Un sustrato se define como un medio (material) sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo que sirve de soporte para las raíces de la planta interviniendo o no en el proceso de nutrición (Abad *et al.*, 2005, 1998; Fonteno, 1999;

Terés, 2001). Los sustratos activos (en contraposición a los inertes) pueden intervenir en el complejo proceso de la nutrición mineral e hídrica de la planta (Terés, 2001).

El sustrato tiene dos funciones principales: primera anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz, a la vez que les permite la respiración y, segunda, contener el agua y los nutrientes que la planta necesite (Abad *et al.*, 2005; Calderón y Cevallos, 2001).

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad del sustrato de cultivo es producir una planta o cosecha abundante y de buena calidad, en el período de tiempo lo más corto posible y con los menores costos de producción, adicionalmente, el sustrato utilizado no debe provocar un impacto medioambiental de importancia (Abad y Noguera, 1998).

La selección del tipo de sustrato depende las características del cultivo a implantar, de la instalación y de las variables ambientales. Además se deben tener en cuenta las prácticas para manejo del sustrato del tal forma que se logre un buen desempeño de éste (Alarcón, 2000)

1.2.1 Tipos de sustratos

- **Cascarilla de Arroz**

El grano de arroz se encuentra dentro de una cáscara o cascarilla formada por las glumillas adheridas al grano. En la obtención del arroz blanco, el grano se descascara, obteniendo como subproducto la cascarilla de arroz.

Esta cascarilla puede ser utilizada como sustrato directamente o después de sufrir un proceso de descomposición, en Brasil es ampliamente estudiada su utilización como sustrato de cultivo (Guerrini y Trigueiro, 2004; Gruszynsky *et al.*, 2004; Belle y Kampf, 1994).

En Japón se utiliza para el cultivo sin suelo un material que se denomina “*Kuntan*” que consiste en cascarilla de arroz tostadas en un horno entre 300 y 600°C (Burés, 1997).

El sustrato más utilizado en Colombia es la cascarilla de arroz parcialmente quemada, comparada con los sustratos más utilizados en Europa como lana de roca, vermiculita, fibra de coco y arcillas expansivas, entre otros. La cacascarilla resulta un sustrato muy económico por ser un subproducto de la industria arrocera.

6 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

Es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición por su alto contenido de sílice, es liviano (densidad aparente entre 0,090 y 0,22 g de materia seca por cm³), tiene porosidad elevada, así como aireación y capacidad de retención de humedad, su permeabilidad es elevada, su pH es neutro, su conductividad eléctrica (CE) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) son bajas, es un material rico en potasio y pobre en nitrógeno, su principal costo es el transporte debido a que es un desecho de la industria arrocera (Calderón, 2002).

Para mejorar las propiedades físicas y químicas, especialmente aumentar la retención de agua fácilmente disponible, se realiza la quema parcial de la cascarilla de arroz (Calderón y Cevallos, 2001), como sigue: la cascarilla se apila, se enciende fuego por un costado y se va revolviendo con cascarilla cruda hasta obtener el grado de quemado deseado, la intensidad del quemado varía entre 50% y 100% según el grado de carbonización que se requiera, pero no se debe dejar llegar hasta cenizas.

Calderón (2002) propone la utilización como sustrato para cultivos sin suelo de la cascarilla de arroz mezclada con arcilla fina "cascarilla caolinizada"; como una alternativa para mejorar la retención de humedad y la CIC de este sustrato.

El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad comparada con otros sustratos y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma cuando se usa como sustrato único, adicionalmente el problema ambiental que genera la quema de la cascarilla en las fincas de flores.

▪ **Fibra de coco**

La fibra de coco es un subproducto de la industria del coco, es un material orgánico de lenta descomposición que resulta como subproducto de las plantaciones de coco de los países situados en los trópicos como son Sri Lanka, India, Filipinas, Costa de Marfil, México (Calderón, 2001; Burés 1997). En el año 2000 la producción de coco en Colombia fue de alrededor de 101.000 toneladas, con un rendimiento de 7.200 kg ha⁻¹, siendo los departamentos de Córdoba (29,8%), Nariño (28,7%) y Cauca (15,9%) los principales productores (Arias, 2003).

Los productos resultantes del desfibrado de la nuez de coco que proceden del mesocarpio son fibras largas, que se suelen utilizar para diversas actividades de manufactura, así como, restos de fibras y polvo.

La fibra de coco consiste en partículas de lignina y celulosa, con una relación C/N de 80, en general la fibra de coco se utiliza fresca, para algunos tipos de fibra que presentan toxicidad en el material fresco es aconsejable el compostaje antes de su uso en mezcla para sustratos, debiéndose añadir nitrógeno en el compostaje (Burés, 1997).

El cultivo de plantas hortícola y ornamentales en sustrato a base de fibra de coco se utiliza en diferentes países (Abad *et al.*, 2005; Pardo *et al.*, 2003; Alarcón, 2000) y está actualmente abriéndose paso entre los sustratos comerciales en Colombia (Arias, 2003 y Galán, 2004).

Una de las principales características es su capacidad de amortiguamiento térmico entre temperaturas ambientales extremas considerablemente superior a otros sustratos como perlita o lana de roca y por su alta capacidad de retención hídrica, lo anterior reduce la frecuencia de riego; adicionalmente, la fibra de coco tiene una larga durabilidad que puede alcanzar hasta cinco años si es manejada correctamente y tiene una densidad aparente baja que favorece la instalación con respecto a otros elementos de sustratos como la arena.

Presenta un pH que varía entre 4 y 7; su CE varía entre 1 y 6 dS/m (Calderón, 2002); esta elevada conductividad se puede presentar por el lavado o contacto con aguas de mar en las zonas de origen como es el caso del Choco colombiano, este aspecto puede resultar un problema para el cultivo, por lo cual es conveniente analizar previamente todas las partidas del material con respecto a su salinidad, y una vez establecido el cultivo hacer lavado con agua baja en sales.

El contenido de materia orgánica es de 85-98%, la CIC está entre 20 y 30 meq/100 g, la porosidad total es superior al 80%, la conductividad hidráulica es elevada, su densidad varía entre 50 y 100 kg de materia seca por m³ (Pardo *et al.*, 2003; Abad *et al.*, 2001).

En Holanda, Inglaterra y Australia se utiliza la fibra de coco como sustrato en horticultura, en reemplazo de algunos tipos de turbas (turba de *Sphagnum*) (Abad *et al.*, 2001 y Noguera, 2002); pero en zonas como Samoa (Pacífico sur, Polinesia, Oceanía) se utiliza la fibra de coco para el cultivo de especies hortícolas comestibles desde antes de 1973 (Búres, 1997).

1.2.2 Propiedades químicas de los sustratos

▪ *Propiedades físico-químicas y químicas*

Las propiedades físico-químicas y químicas caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del mismo: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (propiedades químicas), reacciones de intercambio de iones (propiedades físico-químicas) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (propiedades bioquímicas).

Los materiales orgánicos son los componentes que más contribuyen a la actividad química de los sustratos, debido a la formación y presencia de sustancias húmicas producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Bures, 1997; Terés, 2001; Abad *et al.*, 2005).

pH

Las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma “asimilable”; no obstante, el crecimiento y desarrollo de la planta se ven reducidos de manera apreciable en condiciones de acidez o alcalinidad extremas. El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la CIC y la actividad biológica (Terés, 2001).

Así, en el cultivo de las plantas ornamentales en contenedor, el nivel de referencia del pH (pasta saturada) oscila entre 5,2 y 6,3 y en el caso del cultivo hidropónico de hortalizas, el valor óptimo del pH (solución del sustrato) se sitúa entre 5,5 y 6,8 (Abad *et al.*, 2005).

El pH entre sustratos difiere sustancialmente, y a la vez se presenta grandes diferencias entre el mismo tipo de sustrato. En la Tabla 1-1 se indica un resumen de las condiciones de pH de algunos sustratos suministrado por Kipp *et al.* (2000). Mencionada condición química es de importancia secundaria sí sólo hay una capacidad “buffer” pequeña en el material, tal como sucede con la lana de roca y algunas arcillas expandibles.

Tabla 1-1: Condiciones de pH de diferentes materiales usados como sustratos. Tomado de Kipp *et al.* (2000).

Material	Promedio	Rango
Viruta de madera	4,8	3,8 – 5,4
Gránulos de arcillas expandibles	8,1	7,7 – 8,6
Fibra de coco	5,7	5,4 – 6,1
Polvo de coco	6,2	6,0 – 6,7
Perlita	6,3	5,2 – 7,7
Espuma	6,6	4,7 – 8,9
Piedra pómez	6,3	4,7 – 7,6
Lana de roca	6,2	5,2 – 7,8
Turba	3,9	3,4 – 4,4

CIC

La capacidad de intercambio catiónico CIC también presenta grandes diferencias entre los sustratos y sus materiales constituyentes (ver Tabla 1-2), esta variación se debe a factores como el método de determinación aplicado, el estado de exposición del sustrato (Raviv *et al.*, 2002), el tamaño de la partícula (Bunt, 1988; Gizas *et al.*, 2001) y de la condición de pH (Silber *et al.*, 1994). El grado de descomposición también tiene un enorme efecto, tal como lo evidenció Jokova *et al.*, 1997 en un análisis de CIC practicado al sustrato aserrín de madera, cuyos resultados mostraron una CIC de 100 mmol.kg⁻¹ para material fresco y de 830 mmol.kg⁻¹ para material analizado después de un año.

- 10 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

Tabla 1-2: Capacidad de intercambio catiónico CIC de algunos sustratos

Material	CIC	Referencias
	mmol.kg ⁻¹ de materia seca	
Humus	2000	Bunt (1988)
Turba	560 -1580	Lamaire (1998)
Polvo de coco	350 – 600	Evans <i>et al.</i> (1996); Verhagen (1999)
Aserrín fresco	100	Jokova <i>et al.</i> (1997)
Compost fresco	270 – 1080	Jokova <i>et al.</i> (1997); Lamaire (1998)
Compost estable	640 – 1810	Jokova <i>et al.</i> (1997); Lamaire (1998)
Arcilla	100 – 300	RHP (2007)
Vermiculita	390 – 530	Van der Mark (2008)
Perlita	10 – 70	Bunt (1988); Gizas <i>et al.</i> (2001)
Zeolita	400 – 1200	Stamatakis (2001); Maloupa (2002)
Toba volcánica	70 – 600	Silber <i>et al.</i> (1994)
Piedra pómez	60 – 80	Gizas <i>et al.</i> (2001)
Lana de roca	0	Lamaire, (1995)

▪ **Concentración de solutos**

Las sales solubles se hallan disueltas en la solución del sustrato, la fase líquida del sustrato consiste en una solución acuosa de diversas sales de composición y concentración no homogénea; esta composición depende del material que forma el sustrato, y su concentración depende del contenido de humedad, y de cómo se llena el

espacio poroso, aumentando la concentración a medida que disminuye el contenido de humedad del sustrato (Burés, 1997).

Esta concentración en la solución acuosa suele ser elevada, superior a la que es habitual en cultivos en suelos minerales, con esto se aumenta el riesgo de acumulación excesiva de sales disueltas, lo que se conoce como salinidad.

Con la salinidad pueden presentarse toxicidades específicas de determinados iones (boro, magnesio, entre otros). La salinidad generalmente se debe a un aporte excesivo de nutrientes minerales con el abonado principalmente de nitrógeno y potasio, respecto de las cantidades absorbidas por las plantas y pérdidas por lixiviación (Ansorena, 1994).

Las causas que originan un incremento en la salinidad del sustrato, una vez introducido en el contenedor, son (Terés, 2001 y Abad *et al.*, 2005):

- ❖ Presencia de concentraciones elevadas de sales en algunos de los componentes del sustrato;
- ❖ Presencia de fertilizantes insolubles -como los de liberación lenta-, cuando se degradan para producir nitratos, o bien cuando liberan sales mediante difusión, en una cantidad superior a las cantidades absorbidas o lixivadas;
- ❖ Aporte excesivo de sales con el agua de riego o con la solución nutritiva, que superan a las cantidades absorbidas por la planta más las pérdidas por lixiviación;
- ❖ Presencia en el sustrato de una alta CIC, al mismo tiempo que el sustrato se descompone durante el transcurso del cultivo liberando nutrientes.

Todas estas situaciones pueden ser prevenidas, en gran parte, conociendo las cantidades de fertilizantes requeridas por el cultivo y evitando aplicaciones excesivas de los mismos.

El incremento en la salinidad en un sustrato puede corregirse o prevenirse mediante el control en los lixiviados. En la práctica del riego en el cultivo en sustrato, se aplica agua de manera excesiva con objeto de evitar la acumulación de sales por lavado, este exceso varía en función de la época del año, el estado de desarrollo de la planta y la calidad del agua de riego (Terés, 2001).

La CE expresa de una manera aproximada la concentración de sales ionizadas en la solución del sustrato, la concentración total de sales afecta el potencial osmótico, que

- 12 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá
-

esta relacionado con la concentración iónica en la fase líquida (Burés, 1997). La respuesta de las plantas a la salinidad varía en función de su edad, condiciones ambientales, manejo del cultivo y características de la especie (Terés, 2001).

▪ **Relación Carbono: Nitrógeno (C/N)**

Se suelen utilizar algunos parámetros como indicadores del estado de descomposición de la materia orgánica, estos se denominan parámetros de madurez de un compost y, a su vez, pueden ser de carácter químico: relación carbono/nitrógeno, (C/N), grado de descomposición, o de carácter biológico: técnicas respirométricas (Burés, 1997).

La relación C/N se usa tradicionalmente como un índice del origen, del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica, puesto que su valor depende del material y decrece a medida que se descompone la materia orgánica. En general, varía entre 5 y 30; para un material compostado una relación C/N inferior a 20 se suele tomar como indicadora de madurez y estabilidad (Terés, 2002; Burés, 1994).

Los tejidos de los microorganismos que se alimentan de la materia orgánica que descomponen, tienen una relación C/N del orden de 30, es por esto que si se descomponen y se alimentan de materiales con una relación C/N superior, es decir, con una mayor proporción de carbono, necesitarán para su crecimiento un aporte extra de nitrógeno, que tomarán del nitrógeno soluble presente en el medio de cultivo compitiendo con las plantas y degradando el medio de cultivo. En la Tabla 1-3 se presentan algunos valores de la relación C/N en diferentes compuestos orgánicos.

Cuando se preparan sustratos orgánicos a partir de sustancias naturales, es necesario tener en cuenta los valores de la relación C/N. Cuanto más bajo sea este cociente, más mineralizado está el material, se han propuesto algunos intervalos para dicha relación, para turba (Ansorena, 1994): <20 Buena, 20-25 Aceptable, 25-30 Deficiente, >30 Mala.

Tabla 1-3: Valores de la relación C/N en diferentes materiales orgánicos

Tipo de materia orgánica	C/N
Turba parda francesa	20-26
Turba rubia rusa	54
Turba rubia alemana	49
Corteza de pino marino no compostada	300
Corteza de pino silvestre compostada	92

Tomado de Ansorena (1994), citado por Lemaire *et al.* (1989).

▪ **Condiciones químicas y concentración de nutrientes**

La toma de los nutrientes puede ser afectada por la condición química de los sustratos o por los constituyentes del mismo. En primer lugar la toma de nutrientes dependerá de los elementos adicionales o agregados a la preparación del sustrato, de los elementos minerales que éste contenga y qué estén disponibles para la planta, así como de las fluctuaciones del pH en los sustratos, cuya dinámica puede movilizar o inmovilizar los elementos minerales (Sonneveld y Voogt, 2009).

La adición de elementos minerales a los sustratos sólo ocurre con la preparación de sustratos con una alta CIC, tal como sucede con los sustratos compuestos principalmente de materiales de origen orgánico. Varios materiales usados como sustratos por su naturaleza y composición traen pequeños a medianos contenidos de algunos elementos nutricionales, tal como se indica en la Tabla 1-3.

Se observa en la Tabla 1-4 que el sustrato lana de roca es el más inerte y presenta una pequeña concentración de boro, mientras que la fibra de coco puede contener apreciables concentraciones de K, Na y Cl,; sin embargo, estas concentraciones pueden fluctuar fuertemente por lixiviación de los elementos. Los sustratos viruta de madera y piedra pómez indican altas concentraciones de boro y manganeso, situación que también puede ocurrir con la cascarilla de arroz (Bost *et al.*, 2002; López Cuadrado *et al.*, 2008).

14 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

Tabla 1-4: Datos analíticos de la composición y condiciones químicas de los algunos sustratos. Tomado de Kipp *et al.* (2000).

Característica	Lana de roca	Turba	Fibra de coco	Piedra pómez	Perlita	Viruta de madera
pH	6,2	3,9	5,7	6,3	6,3	4,8
CE dsm^{-1}	0,0	0,2	0,5	0,2	0,1	0,2
K mmol.L^{-1}	0,0	0,0	1,3	0,7	0,0	0,9
Na	0,0	0,6	2,8	0,5	0,1	0,1
Ca	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,4
Mg	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,3
NO_3	0,0	0,3	0,0	0,4	0,1	0,1
Cl	0,0	2,5	2,5	0,2	0,1	0,1
SO_4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
P	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1
Si	0,0	-	0,0	0,2	0,1	0,1
Fe $\mu\text{mol.L}^{-1}$	0,1	1,1	3,9	1,9	0,1	5,2
Mn	0,0	0,5	0,3	11,3	0,1	14,1
Zn	0,0	0,3	1,5	1,3	0,1	4,3
B	2,1	2,5	5,0	15,8	11,0	27,0
Cu	0,0	0,1	2,3	2,3	0,0	0,3

1.3 Análisis de contenido de elementos en tejidos vegetales

El uso de análisis químico de material vegetal para propósitos de diagnóstico se basa en la supuesta relación causal entre la tasa de crecimiento de la planta y el contenido de nutrientes en la materia seca o fresca. El diagnóstico nutricional basado en la interpretación y aplicación de análisis de tejidos puede aportar información para optimizar el manejo de fertilizantes, asegurar la calidad del producto y reducir el riesgo de contaminación ambiental (Van Lersel *et al.*, 1998). La composición de los elementos minerales en los tejidos vegetales se expresa como contenido del elemento mineral por unidad de peso fresco o peso seco ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$). De acuerdo con los resultados descritos por la literatura, el porcentaje de materia seca se incrementa con la edad de la planta y de sus respectivos órganos.

El estado fisiológico de una planta o parte de ella es uno de los factores más importantes que afecta el contenido de nutrientes minerales en la materia seca. Con excepción del calcio, hierro y boro, el contenido de nutrientes minerales en la materia seca disminuye con la edad de la planta o del respectivo órgano. Esta disminución se atribuye principalmente a un incremento en la proporción de material estructural como paredes celulares y lignina; además del almacenamiento de compuestos en la materia seca, como por ejemplo, el almidón (Marschner, 1995; Jones, 1998; Havlin *et al.*, 1999).

Generalmente las hojas son los órganos utilizados para el análisis del contenido de elementos. Uno de los problemas frecuentes con el uso de análisis de diagnóstico son las fluctuaciones a corto plazo en el contenido de nutrientes, debido, por ejemplo, a efectos de dilución por rápido crecimiento (Marschner, 1995; Lucena, 1997).

En la mayoría de los casos, una alta eficiencia en la utilización de nutrientes se relaciona principalmente con el crecimiento y actividad de la raíz, y en otros casos con el transporte desde la raíz a la parte aérea. También la eficiencia en la utilización de nutrientes puede estar relacionada con los siguientes aspectos: a) altas tasas de translocación durante el estado vegetativo o reproductivo, b) incrementos en la actividad enzimática (p.e actividad de la nitrato reductasa en la hoja y por lo tanto mayor eficiencia en la utilización de nitrógeno para proteínas de almacenamiento), c) baja producción de nutrientes no disponibles para procesos metabólicos debido a compartimentación o a

unión química (asimilación), d) diferencias en la proporción de crecimiento vegetativo (fuentes) a crecimiento reproductivo o de órganos de almacenamiento (demanda) (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999)

1.4 Análisis de crecimiento

El crecimiento es definido como un proceso fisiológico complejo e irreversible en términos de incremento en peso y cantidad de protoplasma, materia seca, volumen, longitud, y área foliar en función del tiempo, que involucra procesos de división, expansión y diferenciación celular. Los procesos de crecimiento y desarrollo son eventos estrechamente relacionados puesto que el crecimiento está acompañado por morfogénesis y diferenciación. Estos eventos se traducen en cambios morfológicos y fisiológicos con el aumento de la edad de la planta (Salisbury y Ross, 1992; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón- Bieto y Talón, 2000).

La concentración de nutrientes en los tejidos puede afectar el crecimiento de la planta, puesto que es considerada como un factor que participa en la dirección del proceso de crecimiento debido al requerimiento de solutos suficientes para mantener la turgencia en el interior de la célula por encima de un umbral. Por consiguiente, la incorporación de iones hacia la célula mantiene la presión de turgencia, y tiende a caer ligeramente a medida que se aumenta el volumen celular. Por encima del umbral de turgencia, la tasa de elongación celular es controlada por reacciones metabólicas, las cuales causan síntesis o extensión de polímeros de la pared celular (Lambers *et al.*, 1998; Taiz y Zeiger, 1998).

La tasa de crecimiento de una planta es el resultado tanto de su “antecedente” genético como del ambiente en el cual crece y se desarrolla. Por consiguiente, el crecimiento y desarrollo de la planta es consecuencia de la interacción de procesos asociados con relaciones hídricas, nutrición mineral, fotosíntesis, transporte en el floema y respiración. Por otro lado, estos procesos fisiológicos pueden estar controlados por la tasa de crecimiento de la planta (Lambers *et al.*, 1998; Taiz y Zeiger, 1998).

Para el análisis de crecimiento se utiliza una técnica de tipo destructivo que requiere el uso de grupos homogéneos de plantas o parcelas a las cuales se les práctica mediciones

frecuentes de peso seco de los órganos y del tamaño del sistema asimilatorio (CIAT, 1988).

El análisis de crecimiento es de gran utilidad porque permite conocer las características de una planta más fuertemente asociadas con la producción y suministra información relevante para la comprensión del funcionamiento de una planta dependiente del genotipo y el ambiente. El crecimiento de las plantas puede ser evaluado cuantitativamente, a través de la determinación de la producción primaria (peso seco) en función del tiempo (Hunt, 1990; Lambers *et al.*, 1998).

El crecimiento puede ser analizado en función del incremento de materia seca total y su distribución (partición) entre órganos involucrados en adquisición de recursos de la parte aérea y del sustrato. Para mayor precisión, el peso seco de la planta se puede dividir en sus diferentes órganos de importancia económica y fisiológica para analizar el crecimiento al nivel de órganos y células individuales. En estos términos la partición de recursos juega un papel crucial en la determinación de la tasa de crecimiento de una planta (Lambers *et al.*, 1998).

El análisis de crecimiento ha sido practicado de dos formas diferentes, una de ellas es el análisis clásico originado con los trabajos de Blackman (1919), basado en medidas realizadas a intervalos de tiempo relativamente largos con un gran número de plantas y el análisis funcional en el cual las medidas se hacen a intervalos de tiempo más frecuentes, utilizando un pequeño número de plantas (Hunt, 1990).

Existen dos clases de crecimiento, el clásico y el funcional; el crecimiento clásico se sugiere que los eventos sean seguidos por muestreos en series de relativa frecuencia, en gran escala y de manera destructiva; el crecimiento funcional se refiere a que dichos muestreos suministran la información para una curva ajustada (ideal), pero en baja cantidad y con mucha menor frecuencia.

Dentro de un análisis de crecimiento, se debe tener en cuenta el análisis de los Índices de crecimiento, los cuales ayudan a cuantificar y cualificar un cultivo. Entre los Índices de crecimiento más utilizados encontramos los siguientes:

- 18 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá
-

1.4.1 Índices de crecimiento

- **Índice de área foliar (IAF):** Se define como el área de hojas verdes (m²) por metros cuadrados de suelo. Existen diversos métodos para determinar el IAF. La medida del IAF es un valor adimensional.

$$\text{IAF} = \text{Área Foliar} / \text{Área del suelo}$$

- **Tasa de Asimilación Neta (TAN):** Permite cuantificar la fotosíntesis laminar. La TAN es la producción de materia seca elaborada por la planta, determinada fundamentalmente por la fotosíntesis y la respiración. La TAN se calcula a partir de valores de pesos seco y de área foliar producida en un intervalo de tiempo dado.

$$\text{TAN} = ((P_2 - P_1)/(A_2 - A_1)) * ((\ln A_2 - \ln A_1)/(t_2 - t_1))$$

Donde:

P2 = Peso seco final de la planta.

P1= Peso seco inicial de la planta.

A1= Área foliar inicial de la planta.

A2 = Área foliar final de la planta.

t2 – t1 = Tiempo transcurrido durante la evaluación (día, semanas, meses, horas, minutos).

- **Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC):** Se determina multiplicando el IAF por la TAN; los resultados se expresan en g/m²/día

$$\text{TCC} = \text{IAF} * \text{TAN}$$

Otra fórmula par dicho cálculo es:

$$\text{TCC} = 1/AS \times ((P_2 - P_1)/(t_2 - t_1))$$

- **Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC):** Es una tasa de cambio en tamaño, o sea un incremento del tamaño por unidad de tiempo. Generalmente se usa la masa seca, considerada como el peso seco total de la planta. Sus unidades son generalmente $\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$. Los valores se obtienen de los muestreos destructivos estimados como P_1 y P_2 realizados en los tiempos t_1 y t_2 respectivamente. Puede ser expresada en tamaño o en número.

$$\text{TAC} = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)$$

- **Tasa Relativa de Crecimiento (TRC):** Expresa el incremento en masa seca de la planta en un intervalo de tiempo dado, tomando como referencia el valor de la masa seca producida y acumulada. Este índice permite realizar comparaciones cuantitativas, y se mide en $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}$.

$$\text{TRC} = (\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1)$$

- **Relación de Área Foliar (RAF):** Es un índice morfológico que describe el "follaje de la planta". Una proporción entre el potencial fotosintético y el respiratorio de los componentes. Es la relación entre el área foliar total y la materia seca total por planta. Se mide en $\text{mm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ ó $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$.

$$\text{RAF} = ((AF_1/P_1) + (AF_2/P_2)) / 2$$

- **Índice de Cosecha (IC):** Medida de la fracción del cultivo que es comercialmente importante. Corresponde al cociente entre materia seca comerciable y materia seca total. Es un valor adimensional, generalmente se expresa en porcentaje.

$$\text{IC} = [(W_{PC1}/W_{TOT1}) + (W_{PC2}/W_{TOT2})] / 2$$

PC: masa seca comerciable

PCtotal o biológica: masa seca de toda la planta (Hunt, 1990).

1.5 Asimilación de nutrientes minerales

Los nutrientes minerales participan en el metabolismo vegetal cumpliendo funciones específicas y esenciales como constituyentes de estructuras orgánicas, activadores de reacciones enzimáticas, portadores de carga y osmorreguladores.

Entre sus propiedades fisicoquímicas se incluyen:

20 Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá

- Nutrientes metales: Níquel (Ni), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), Zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo).
- Nutrientes no metales: Nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), boro (B) y cloro (Cl)

Las plantas superiores son organismos autótrofos que pueden sintetizar sus componentes moleculares orgánicos a partir de nutrientes inorgánicos obtenidos de sus alrededores. Para muchos nutrientes minerales este proceso incluye la absorción del suelo por la raíz y la incorporación de compuestos orgánicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta. Esta incorporación de nutrientes minerales es sustancias orgánicas tales como pigmentos, cofactores, enzimáticos, lípidos, ácidos nucleicos y aminoácidos se denomina asimilación de nutrientes. El proceso de asimilación de nitrógeno y azufre, requiere de una serie compleja de reacciones bioquímicas que se consideran dentro de los procesos energéticamente más costosos (Salisbury y Ross, 1992; Marschner, 1995; Barber, 1995; Lambers *et al.*, 1998; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

La asimilación de los cationes de macro y micronutrientes involucra la formación de complejos con compuestos orgánicos altamente estables en que la remoción del nutriente podría resultar en la pérdida total de la función del elemento (Barber, 1995; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Para la asimilación de cationes de potasio, magnesio, calcio, cobre, hierro, manganeso y zinc; se forman complejos con compuestos orgánicos los cuales los cationes se unen a compuestos carbonados sin la formación de enlaces covalentes. Estos cationes pueden formar enlaces coordinados o uniones electroestáticas con compuestos carbonados, los cuales intervienen en la absorción de los cationes que las plantas requieren como nutrientes (Barber, 1995; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

En la formación de complejos coordinados, átomos de oxígeno o de nitrógeno de un compuesto carbonado donan electrones no compartidos para formar un enlace con el catión del nutriente. Como resultado, la carga positiva del catión es neutralizada. Los complejos de coordinación se forman entre cationes polivalentes moléculas orgánicas, tales como, cobre y ácido tartárico o magnesio y clorofila en la cual el magnesio es ligado por enlace de coordinación con los átomos de nitrógeno en el anillo de porfirina de la

molécula de clorofila. Los nutrientes que son asimilados como complejos de coordinación incluyen cobre, zinc, hierro y magnesio (Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Las uniones electroestáticas se forman debido a la atracción de la carga positiva de un catión por el grupo con carga negativa de un compuesto orgánico. A diferencia de la situación con los enlaces de coordinación, los cationes en las uniones electroestáticas requieren sus cargas positivas. Un grupo cargado negativamente es la forma ionizada de un ácido carboxílico ($-\text{COO}^-$). Los cationes monovalentes tales como (K^+) pueden formar uniones electroestáticas con los grupos carboxilo de muchos ácidos orgánicos (Marschner, 1995; Taiz y Zeiger, 1998).

Generalmente los cationes como magnesio (Mg^{+2}) y calcio (Ca^{+2}) son asimilados por la formación de complejos de coordinación y la formación de uniones electroestáticas como amino ácidos, fosfolípidos y otras moléculas cargadas negativamente. Los cationes divalentes como el calcio forman uniones electroestáticas con pectatos y grupos carboxílicos de ácido poligaracturónico. El calcio también puede formar complejos de coordinación con el ácido poligaracturónico de las paredes celulares (Barber, 1995; Marschner, 1995; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Las raíces acidifican el suelo que las rodea mediante la extrusión de protones durante la absorción y asimilación de cationes, particularmente amonio, y liberan ácidos orgánicos tales como el ácido málico y el ácido cítrico que incrementan la disponibilidad de hierro y fósforo (Barber, 1995; Marschner, 1995; Lambers *et al.*, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

En relación con la asimilación de oxígeno, la respiración produce cerca del 90% del oxígeno (O_2) utilizado por las células vegetales. Otra vía para la asimilación de oxígeno en compuestos orgánicos incluye la incorporación a través del agua. Una pequeña proporción del oxígeno puede ser directamente asimilado en compuestos orgánicos mediante un proceso de fijación, en el cual el oxígeno molecular es añadido directamente a un compuesto orgánico en reacciones llevadas a cabo por oxigenadas (Barber, 1995; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

El transporte de aniones es dirigido por gradientes de potencial electroquímico pero se consume energía metabólica en la importación de estos nutrientes desde la rizosfera. Aunque el transporte de cationes puede ocurrir a favor de un gradiente de potencial

electroquímico también se gasta ATP en el mantenimiento de este gradiente. Cuando nutrientes esenciales como fósforo, hierro y zinc se mueven muy lentamente hacia la superficie de la raíz se requieren mecanismos adaptativos para su adquisición (Marschner, 1995; Barber, 1995; Lambers *et al.*, 1998; Taiz y Zeiger, 1998; Havlin *et al.*, 1999; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

La asimilación de nutrientes requiere grandes cantidades de energía para convertir compuestos inorgánicos estables de baja energía en compuestos orgánicos de alta energía. La mayoría de estas reacciones asimilatorias ocurren en el estroma del cloroplasto, donde se tiene acceso al poder reductor de agentes como NADPH, tioredoxina y ferredoxina generada durante el transporte de electrones de la fotosíntesis. Este proceso de asimilación de nutrientes acoplado al transporte de electrones fotosintético se denomina fotoasimilación. Las plantas C_4 (clavel) conducen la mayoría de sus procesos de asimilación en las células del mesófilo, donde las concentraciones de CO_2 son menores (Lambers *et al.*, 1998; Taiz y Zeiger, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

2. Análisis del crecimiento de clavel estándar (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en sistema de cultivo sin suelo, en condiciones de la sabana de Bogotá

Resumen

Producto de la creciente demanda del sistema de cultivo de clavel en sustrato, es necesario caracterizar el comportamiento fisiológico de esta especie en este método de cultivo. Este trabajo analizó el crecimiento del clavel cv. Delphi, relacionando el efecto causado por los sustratos empleados; para tal efecto, a través de muestreos destructivos se obtuvieron medidas de masa seca por órganos y área foliar. Basándose en las variables evaluadas se determinaron las curvas de crecimiento, las cuales se ajustaron a un modelo de crecimiento logístico y se calcularon los parámetros: índice de área foliar (IAF), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC). El ensayo se realizó en el Municipio de Mosquera (zona Sabana de Bogotá occidente), se emplearon como sustratos cascarilla de arroz quemada, cascarilla de arroz 65% - fibra de coco 35% y cascarilla de arroz 35% - fibra de coco 65%.

Los resultados mostraron que el material vegetal de clavel establecido en los diferentes tratamientos del estudio no presentó diferencias significativas en la masa seca total, indicando que las plantas del tratamiento suelo tienen una TAC más baja y tardía, infiriéndose una lenta y baja exportación de asimilados. La TAN disminuyó en todos los tratamientos, e igual comportamiento mostró la TCC con decrementos a partir de la semana 17 (84 ddp) hasta el final del primer pico (semana 32).

2.1 Materiales y métodos

2.1.1 Ubicación

La presente investigación se realizó en el área de invernaderos del Centro de Biotecnología Agropecuaria de Mosquera (Convenio Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Universidad Nacional de Colombia), ubicado en la sabana de Bogotá zona sur occidente, cuyas coordenadas geográficas corresponden a 74,2° Longitud Oeste y 4,7° Latitud Norte.

La zona en mención se ubica en la cuenca media - alta del río Bogotá, con características de zona de vida correspondientes a bosque seco montano bajo (bsmb), temperatura media de 13,1°C, humedad relativa media de 80,7 %, brillo solar diario medio 4,6 h, velocidad del viento 1,7 m.s⁻¹ (www.ideam.gov.co) y precipitación anual media de 680 mm.

El ensayo se ubicó en cuatro naves de un invernadero tradicional en madera, cada nave con dimensiones de 65 x 6,8 m, para un total de 1768 m². Se contó con un reservorio de 1042 m³ de capacidad de almacenamiento como fuente de agua; canales de drenaje y recolección de aguas lluvias, caseta de bombeo, filtrado y un sistema automatizado de fertirrigación y recolección de lixiviados.

2.1.2 Material vegetal

Para el establecimiento del ensayo se utilizó clavel estándar cv. Delphi, de color blanco, proveniente de esquejes con raíz, cedidos por Suata Plants S.A.

Se construyeron diez camas (15 x 0,85 m) elevadas por nave, compuestas de dos contenedores plásticos. Se sembraron 540 plantas por cama, para una densidad de siembra de 24,7 plantas m⁻² de invernadero. Durante las dos primeras semanas de siembra se regó solamente con agua y, en seguida, se aplicó la fórmula de fertirrigación para la fase vegetativa descrita en la Tabla 2-1, a través de un sistema de riego por goteo.

2.1.3 Fertirriego

La distribución del sistema de riego correspondió a cuatro líneas de goteo de 17 mm por cama, con goteros tipo hidro P.C. A.D. y caudal de 1,2 L.h⁻¹ incorporados cada 20 cm. El agua cruda (Tabla 2-1) se bombeo desde el cabezal, ubicado en el reservorio principal y se encausó hacia la caseta de filtrado, riego y fertilización. El sistema de inyección de solución fertilizante estuvo compuesto por inyector tipo *venturi* y válvulas solenoides para un riego automatizado a través de controlador de riego marca Priva.

Tabla 2-1: Análisis de caracterización química de la calidad agua para riego (proveniente del reservorio) aplicada en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi.

pH	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	NO ₃	Ca	K	Mg	Na	NH ₄	B	CE	RAS
	mg/L como CaCO ₃			mg/L										dS/m	meq/L
6,60	0,0	0,0	76,9	128	56,5	8,64	45,0	32,6	11,9	18	106	2,71	0,09	0,77	3,70

En la Tabla 2-2 se presentan las dos fórmulas de un programa de fertilización comercial utilizadas comúnmente en el cultivo de clavel sembrado en la modalidad de sustrato en la Sabana de Bogotá. Las soluciones fertilizantes fueron suministradas por la compañía Brenntag Colombia S.A.

Tabla 2-2: Fórmulas de fertilizantes (mg.L⁻¹) aplicadas en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi.

Formula Fertilización	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	B	Mo
Clavel - fase vegetativa	200	30	150	150	60	72	4	1	0,5	1	0,1
Clavel - producción continua	150	30	150	150	60	72	2	1	0,5	1	0,1

La frecuencia de riego fue diaria para todos los tratamientos, con volumen diferencial en el suministro de agua por estadio fenológico del cultivo. A partir de la semana 5 después de la siembra (*pinch*) a la semana 14 el promedio fue de 60L/cama experimental/día; en la etapa del cultivo de la semana 15 a 26 se incrementó a 90L/cama experimental/día y

26 **Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá**

se finalizó con un promedio de 50L/cama experimental/día. La distribución de la frecuencia diaria del volumen de riego por tratamientos fue de 6 veces para 100CAQ, 5 veces para 65CAQ y 4 veces para 35CAQ y suelo.

2.1.4 Variables evaluadas

Se evaluaron los siguientes parámetros de crecimiento: índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Para la determinación de los parámetros mencionados se realizaron muestreos destructivos (quincenalmente) en cada unidad experimental, subdividiendo en 15 cuadros y seleccionando de manera aleatoria un cuadro y a su interior dos plantas en perfecta competencia, a fin de medir la masa fresca y acumulación de masa seca de hojas, de tallos, de botón floral y el área foliar. En total se realizaron 11 muestreos destructivos hasta el primer pico de cosecha del ciclo del cultivo.

Las plantas seleccionadas se colectaron en bolsas de plástico y se transportaron al laboratorio, donde se registraron los datos de altura de las plantas, antes de separar los respectivos órganos (raíces, hojas, tallos, flores) para su evaluación. La masa seca se obtuvo en estufa a 80 °C durante 96 h (hasta alcanzar masa constante), una vez secos los órganos se procedió a medir su masa con una balanza de precisión. El área foliar se determinó con un medidor de área foliar LI-COR 3100. Se determinó el área (cm²) individual para las plantas establecidas en cada tratamiento.

2.1.5 Diseño experimental

El diseño experimental correspondió a bloques completos al azar donde cada tratamiento correspondió al sustrato. Fueron tres tratamientos con tres repeticiones, teniendo como unidad experimental la cama de 12,8 m²; para un total de nueve camas, y tres camas en suelo para utilizarlas como contraste o testigo comercial.

Los tratamientos fueron 100% cascarilla de arroz quemada (100CAQ), 65% cascarilla de arroz quemada - 35% fibra de coco (65CAQ) y 35% cascarilla de arroz quemada - 65% fibra de coco (35CAQ) y suelo.

Las observaciones obtenidas en campo y en laboratorio se llevaron en una base de datos. Las curvas de crecimiento obtenidas a partir de la masa seca acumulada por

órganos y del área foliar de las plantas de cada tratamiento, se ajustaron a un modelo de crecimiento logístico, con fórmula general $Y = \alpha / 1 + e^{-\beta(t-\gamma)}$, considerando los parámetros α , β y γ para cada uno de los sustratos, así como el comportamiento del área foliar a lo largo del tiempo. Los datos se procesaron mediante el paquete estadístico SAS.

2.2 Resultados y discusión

De acuerdo con Miranda (1995), la eficiencia fisiológica de las plantas en función de sus parámetros de crecimiento requieren de dos operaciones básicas: 1) la cuantificación del material vegetal existente en una planta o cultivo, y 2) la medida del sistema asimilador de esa especie de planta o cultivo en intervalos de tiempo sucesivos. De estas operaciones se obtienen medidas directas como masa seca, área foliar, tiempo e índices derivados como la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), la tasa de asimilación neta (TAN) y el índice de área foliar (IAF), que para el presente ensayo se obtuvieron por cálculos de análisis funcional.

En la Tabla 2-3 se presentan los valores estimados de los parámetros α , β y γ a partir de las variables área foliar, masa seca foliar, masa seca del tallo, masa seca del botón y masa seca total, las cuales se utilizaron para la determinación de los índices de crecimiento.

2.2.1 Área foliar (AF)

La determinación del área foliar en las plantas es de gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento y desarrollo, dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a distribuirse en los diferentes órganos. Es bien conocido que la magnitud del AF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa RAF, la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios. Dentro de una misma especie las diferentes variedades, razas, cultivares o genotipos pueden exhibir variaciones significativas en su capacidad para interceptar la radiación solar porque ello depende de la magnitud del AF, del arreglo espacial de las hojas, y de la evolución de los estadios fenológicos y morfológicos por los que atraviesa la planta durante su ciclo ontogenético (Boote *et al.*, 2001).

28 **Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá**

En la Tabla 2-3 se observa que no existen diferencias significativas entre los valores del parámetro (α) estimados en cada sustrato para la variable área foliar, sin embargo, el tratamiento suelo fue significativamente inferior a los tratamientos con claveles cultivados en sustratos. Los tratamientos 100CAQ y 35CAQ son en su orden los que presentan los mayores valores de AF con 235,1 cm² y 233,1 cm² respectivamente, mientras los tratamientos 65CAQ y suelo reportan la menor área foliar máxima con 228,9 cm² y 212,2 cm² respectivamente. Estos valores de área foliar en los sustratos son comparables con los hallados por Cárdenas *et al.* (2006) para clavel cultivado en sustrato, quienes reportaron áreas foliares máximas en plantas completas de clavel cv. Nelson en el rango de 199,2 y 234,4 cm² por tallo floral.

La disminución de área foliar puede contribuir a explicar la respuesta de la planta en términos de reducción considerable en la masa seca total de la planta. De acuerdo con varios autores, la reducción en el AF para la interceptación de luz afecta la ganancia fotosintética de carbono, lo cual se refleja en tasa de crecimiento de la planta debido a que el AF podría constituirse en el factor que dirige el proceso (Taiz y Zeiger, 1998)

Las pendientes de las curvas de crecimiento estimadas por el parámetro β no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; sin embargo, estas pendientes se presentaron en el siguiente orden: 100CAQ>65CAQ>35CAQ>suelo (Tabla 2-3). Esta tendencia permite inferir que a medida que se reduce el nivel de cascarilla de arroz en el sustrato se disminuye la pendiente de la curva de crecimiento del área foliar de los tallos de clavel; es decir, a menor cantidad de cascarilla menor área foliar. Los valores del parámetro β encontrados en este estudio difieren de los hallados para esta misma variable por Cárdenas *et al.* (2006), quienes reportaron valores estimados entre 0,30 y 0,34 para clavel cv. Nelson, pudiendo concluirse que esta variedad presenta un mayor aumento en el AF respecto al clavel cv. Delphi.

Tabla 2.- 3: Valores estimados de los parámetros considerados en el modelo logístico, derivados del área foliar; masas secas foliar, del tallo, del botón y total, y del índice de área foliar de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

Tratamiento		100CAQ**			65CAQ			35CAQ			Suelo		
Variable	Parámetro	Estimado	LI	LS***									
Área foliar	α^*	235,1	228,8	241,3	228,9	222,7	235,2	233,1	226,6	239,7	212,2	202,0	222,5
	B	0,064	0,056	0,071	0,062	0,054	0,070	0,058	0,051	0,065	0,055	0,045	0,065
	Γ	51,48	49,25	53,70	42,93	40,55	45,31	48,53	46,07	50,98	60,97	57,06	64,89
Masa seca foliar	α^*	1,64	1,59	1,69	1,61	1,56	1,66	1,64	1,58	1,70	1,79	1,70	1,87
	B	0,082	0,068	0,096	0,066	0,056	0,076	0,065	0,055	0,075	0,069	0,054	0,083
	Γ	52,82	50,40	55,25	47,53	44,96	50,11	51,36	48,50	54,21	63,58	60,07	67,10
Masa seca del tallo	α^*	2,92	2,73	3,09	3,06	2,89	3,23	3,76	3,34	4,18	2,96	2,73	3,19
	B	0,062	0,050	0,074	0,060	0,050	0,069	0,044	0,036	0,052	0,061	0,048	0,074
	Γ	89,98	86,08	93,88	90,25	86,75	93,75	105,7	98,55	112,8	97,48	92,93	102,0
Masa seca del botón	α^*	0,682	0,450	0,914	0,579	0,479	0,678	0,69	0,576	0,802	0,353	0,297	0,408
	B	0,095	0,027	0,164	0,125	0,055	0,195	0,133	0,069	0,197	0,175	0,042	0,309
	Γ	128,8	117,6	139,9	123,5	118,0	129,0	128,2	123,5	132,9	120,9	116,1	125,7

30 **Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá**

Tabla 2-3: (Continuación)

Tratamiento		100CAQ**			65CAQ			35CAQ			Suelo		
Variable	Parámetro	Estimado	LI	LS***									
Masa seca total	α^*	5,11	4,80	5,42	5,24	4,95	5,54	6,57	5,79	7,36	4,92	4,63	5,21
	B	0,048	0,04	0,055	0,044	0,038	0,051	0,034	0,028	0,039	0,057	0,047	0,067
	Γ	80,76	76,25	85,27	80,49	76,29	84,68	99,76	90,46	109,1	84,50	80,53	88,46
Índice de area foliar	α^*	3,19	3,11	3,28	3,11	3,02	3,19	3,17	3,08	3,26	2,88	2,74	3,02
	B	0,064	0,056	0,071	0,062	0,054	0,07	0,058	0,050	0,065	0,055	0,045	0,065
	Γ	51,48	49,25	53,70	42,93	40,55	45,31	48,53	46,07	50,98	60,97	57,06	64,89

* α = máximo valor de la variable evaluada; β = pendiente de la curva; γ = DDP cuando se consigue la máxima TAC. ** 100CAQ = 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ = 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ = 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco. *** Intervalo del 95% de confianza LS limite superior y LI limite inferior

Respecto al parámetro γ (tiempo en días después del *pinch* en el que se alcanzó máxima tasa de crecimiento) se constató que los tratamientos 65CAQ y suelo fueron significativamente el más precoz y el más tardío, respectivamente para la variable área foliar (Tabla 2-2). Así como se observa en la Figura 2-1, las plantas cultivadas en 100CAQ obtuvieron su mayor tasa de crecimiento ($3,76 \text{ cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$) a los 51 días después del *pinch*. Las plantas establecidas en 65CAQ obtuvieron a los 44 días después del *pinch* su máxima tasa de crecimiento ($3,54 \text{ cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$). Las plantas sembradas en tratamiento 35CAQ alcanzaron su máxima tasa ($3,37 \text{ cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$) a los 49 días después del *pinch*, y las plantas cultivadas en suelo lograron su máxima tasa de crecimiento ($2,91 \text{ cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$) a los 61 días después del *pinch*. Esto indica que el desarrollo foliar de las plantas establecidas en la mezcla 65% de cascarilla de arroz – 35% fibra de coco es más precoz que el de las plantas establecidas en los demás sustratos.

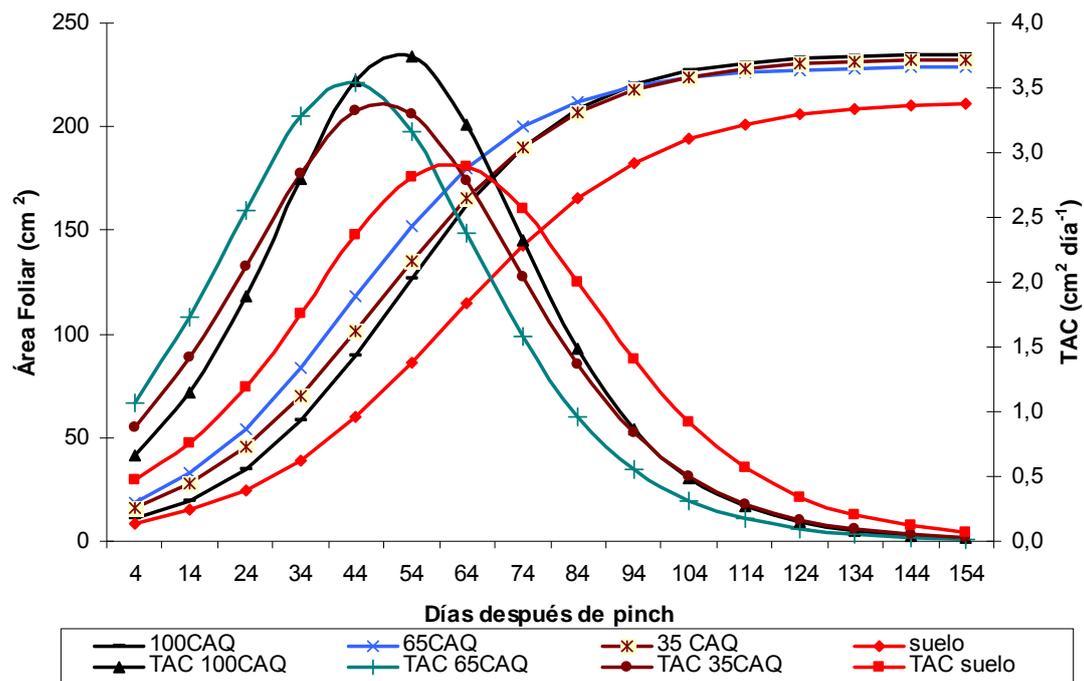


Figura 2-1: Comportamiento del área foliar y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

Baracaldo *et al.* (2010) encontraron que los tallos florales de clavel estándar Nelson a segundo pico de cosecha de las plantas cultivadas en suelo y sustrato, sembradas en 35CAQ alcanzaron la mayor TAC para la variable área foliar en la semana 33, sin presentar diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos. Para el tratamiento 100CAQ, la TAC para esta variable se incrementó hasta la semana 32, para luego, a diferencia de los demás tratamientos disminuir notoriamente. La diferencia en el área foliar entre la primera y segunda producción supone una mejor adaptación de las plantas a las condiciones de suelo o de los sustratos, ya que posiblemente la disponibilidad de nutrientes, entre otros factores, mejoró en los medios de cultivo con el transcurso del tiempo (Verhoven *et al.*, 2004)

2.2.2 Masa seca foliar

Como se observa en la Tabla 2-2 el valor estimado para el parámetro (α) a partir de la masa seca foliar no presentó diferencias significativas entre los tratamientos con sustratos, sin embargo, fue ligeramente superior en el suelo al contrastarlos; éste último presentó el mayor valor (1,79 g), con respecto a los tratamientos 100CQA y 35CQA con similar valor (1,64 g), y el menor valor (1,61 g) para el tratamiento 65CQA. Este comportamiento igualmente se evidenció en las curvas de crecimiento que se muestran en la Figura 2-2, las plantas establecidas en el suelo presentaron su máxima tasa absoluta de crecimiento a los 64 días después del *pinch*, seguido del tratamiento 65CAQ (51ddp), 35 CAQ (49 ddp), mientras el tratamiento 65CAQ mostró su máxima TAC a los 46 días después del *pinch*. Todo lo anterior permite inferir que las plantas establecidas en el suelo tendrían una acumulación de fotoasimilados más tardía, producto quizás del retraso en el desarrollo foliar, tal como se muestra en la Figura 2-2.

Una disminución en la masa seca de las hojas se puede atribuir a un bajo suministro de nutrientes (por ejemplo nitrógeno), se asocia con una reducción en la síntesis y exportación de citoquininas; además de una disminución en la síntesis de proteínas, división celular y extensibilidad de las paredes celulares de células de la hoja en expansión (Marschner, 1995; Taiz y Zeiger, 1998) En estudios realizados con varias especies comparando plantas provenientes de sustratos ricos y pobres en nutrientes, se han observado diferencias en el tamaño, grosor y densidad de la masa foliar, esta última

relacionada con los contenidos de cloroplastos como principales componentes de la masa del citoplasma de las células del mesófilo (Lambers *et al.*, 1998).

Los intervalos de considerados para el parámetro (β) a partir de la masa seca foliar no presentan diferencias significativas entre tipos de sustrato; así, las mayores pendientes en las curvas de crecimiento se presentaron en el orden 100CAQ> suelo> 65CAQ> 35CAQ, respectivamente (Tab. 2-2).

Con relación al parámetro (γ) no se presentaron diferencias significativas entre los sustratos. Las plantas establecidas en el tratamiento 65CAQ fueron 5 días más precoces en alcanzar la máxima TAC de la MSF, con relación a las plantas en 100CAQ y 35CAQ, y 16 días con relación a las plantas cultivadas en suelo (Fig. 2-2)

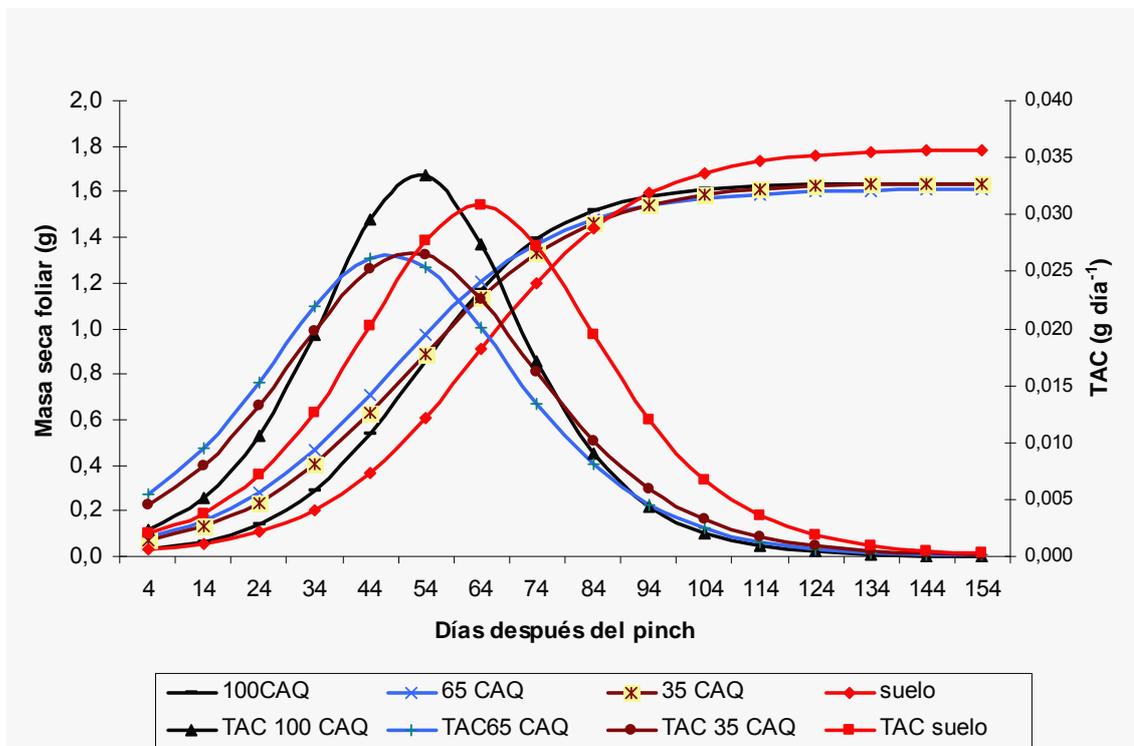


Figura 2-2: Comportamiento de la masa seca foliar y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

2.2.3 Masa seca de los tallos

El crecimiento del tallo es el resultado de la expansión celular, lo cual se relaciona con la plasticidad de las paredes celulares. A medida que la célula se expande, se incrementa la deposición de material de la pared celular, cuyo grosor permanece constante durante la fase de expansión. Después de que las células han alcanzado el tamaño final, puede ocurrir deposición adicional de material de la pared celular, generando un engrosamiento de ésta (Salsbury y Ross, 1992; Lambers *et al.*, 1998 Taiz y Zeiger, 1998).

En la Figura 2-3 se observa que los tallos de las plantas establecidas en el tratamiento 100CAQ muestran el menor valor de masa seca de tallos (2,92 g), mientras los tallos cultivados en suelo, 65CAQ y 35CAQ presentaron mayor masa seca de tallos con 2,96, 3,06 y 3,76 g respectivamente. En la Tabla 2-2 se muestra que no hubo diferencia significativa para el parámetro (α) entre el tratamiento 100CAQ y suelo, pero sí con las mezclas, mostrando resultados similares del comportamiento de la masa seca de los tallos a los presentados por Cárdenas *et al.* (2006) para clavel cultivado en sustrato (sin incluir suelo): al final de la evaluación, las plantas del tratamiento 100CAQ estuvieron por debajo de los tratamientos 65CAQ y 35CAQ

Las plantas sembradas en los tratamientos 100CAQ y 65CAQ registraron su mayor TAC en el día 90 después del *pinch* (semana 12) con 0,0451 y 0,0458 g.día⁻¹ respectivamente. En tanto, las plantas establecidas en el suelo y tratamiento 35CAQ alcanzaron su máxima TAC en los días 106 y 97 después del *pinch* con 0,0458 y 0,041 g.día⁻¹, respectivamente. Las plantas del tratamiento 65CAQ, al presentar el mayor valor de TAC en menor tiempo tienden a acumular masa seca en los tallos más rápidamente (Fig. 2-3), evidenciando una ágil y mayor acumulación de fotoasimilados y eficiente transporte a los demás tejidos de la planta. Respecto a los intervalos de confianza del parámetro (β) (Tab. 2-2) se presentó diferencia significativa entre el tratamiento 35CAQ y los demás tratamientos, siendo éste el de menor pendiente.

Con relación al parámetro (γ) los tratamientos alcanzaron su máxima TAC de masa seca del tallo entre los 90 y 106 días después del *pinch* (semanas 12 y 15).

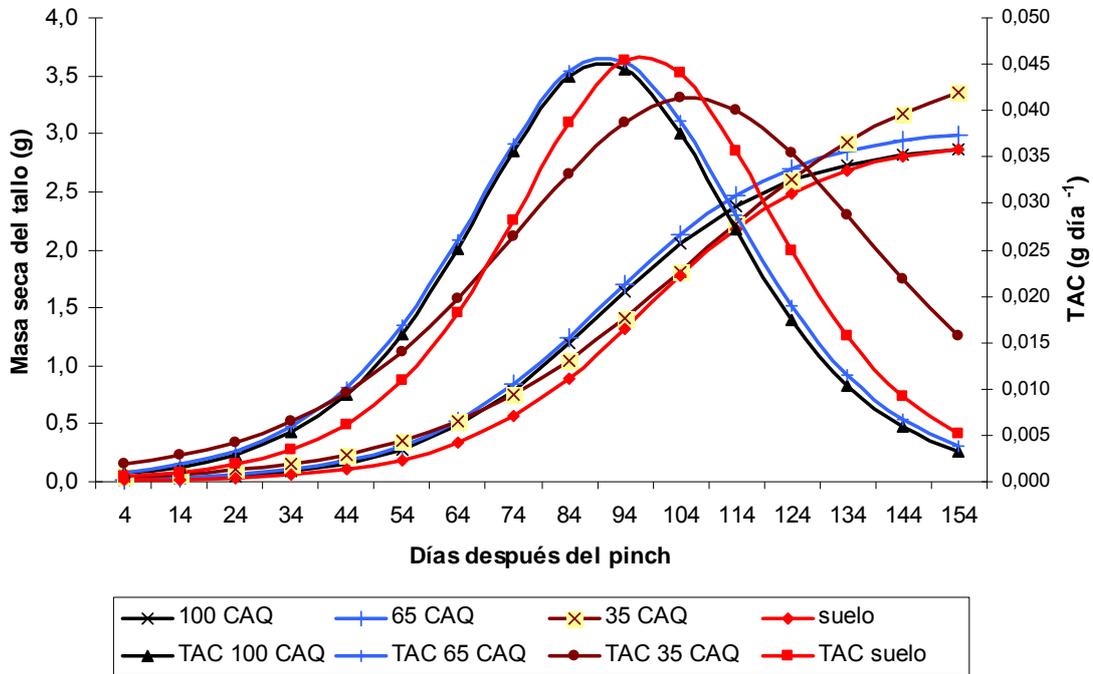


Figura 2-3: Comportamiento de la masa seca de los tallos florales y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

2.2.4 Masa seca del botón

El valor estimado para el parámetro (α) a partir de la masa seca del botón presentó diferencias ligeramente significativas entre tratamientos en sustratos y altamente significativas con respecto al suelo, así en el tratamiento con 35CAQ se reportó el mayor valor (0,69 g.día⁻¹), seguido del tratamiento 100CAQ con un valor similar (0,68 g.día⁻¹); el tratamiento 65CAQ fue ligeramente inferior (0,58 g.día⁻¹) y muy por debajo la masa seca de los botones de los tallos de clavel cultivados en suelo. Este comportamiento se evidenció en las curvas de crecimiento que se muestran en la Figura 2-4.

Respecto a los intervalos de confianza del parámetro (β) (Tab. 2-2) se presentó diferencia significativa entre el tratamiento 100CAQ y los demás tratamientos, siendo

éste el de menor pendiente. Respecto al clavel cultivado en suelo presentó la mayor pendiente y diferencia significativa al contrastarlo con el clavel cultivado en sustrato.

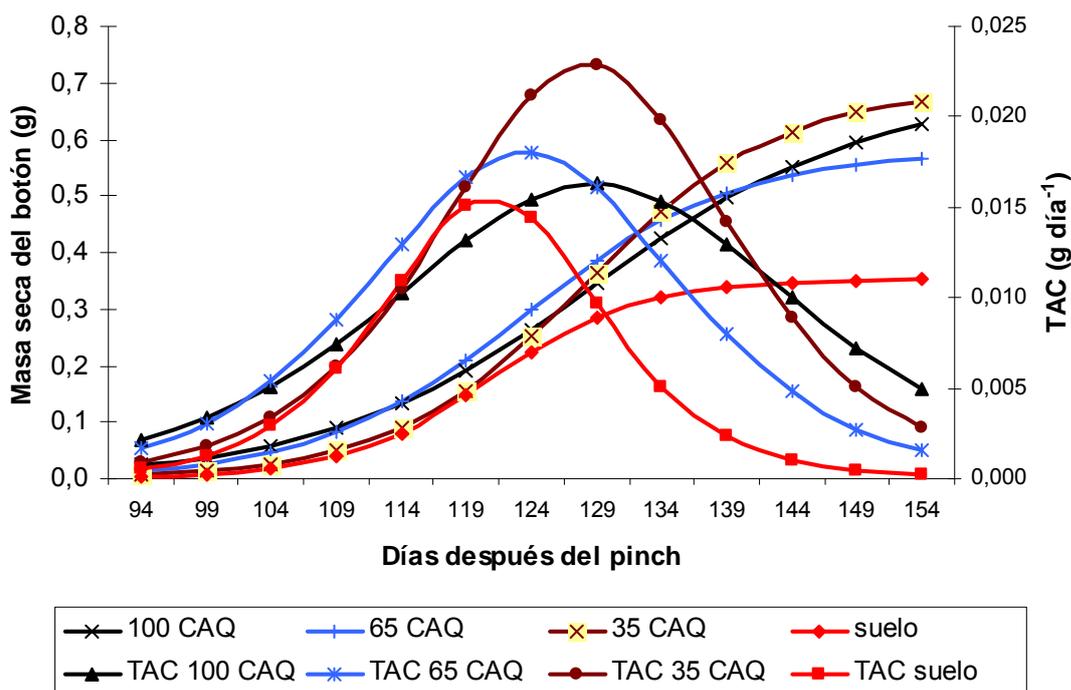


Figura 2-4: Comportamiento de la masa seca del botón floral y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

Con relación al parámetro (γ) los tratamientos alcanzaron su máxima TAC de masa seca del botón entre los 121 y 129 días después del *pinch*; observándose que se presentó mayor precocidad en alcanzar el mayor peso seco en los botones del clavel establecido en suelo, pero en contraste correspondieron a los botones con el menor peso, y los más tardíos fueron para el clavel establecido en los tratamientos 35CAQ y 100CAQ, respectivamente. Es probable que la reducción en la masa seca de los botones de las plantas establecidas en suelo se pueda atribuir a una menor inversión de biomasa en estructuras reproductivas como una estrategia de control sobre el proceso de crecimiento

de la planta en respuesta a las condiciones evaluadas por efecto del balance de relaciones fuente demanda (Lambers *et al.*, 1998).

2.2.5 Masa seca total

En las plantas establecidas en el sustrato 35CAQ se encontró que el máximo valor estimado para esta variable parámetro (α) es significativamente mayor al tratamiento suelo (Tab. 2-2 y Fig. 2-5), sin embargo, éste es el tratamiento más tardío en alcanzar la máxima TAC en el día 100 ddp ($0,055 \text{ gd}^{-1}$). La máxima TAC en los tratamientos 100CAQ ($0,061 \text{ gd}^{-1}$) y 65CAQ ($0,059 \text{ gd}^{-1}$) se alcanzó el día 80 ddp; respecto al tratamiento suelo alcanzó la máxima TAC ($0,07 \text{ gd}^{-1}$) en el día 85 ddp, el cual presentó el mayor valor respecto a los tratamientos en sustrato (Fig. 2-5).

El sustrato 100CAQ no favoreció (por mínima cuantía) la acumulación de masa seca debido, posiblemente, a que la cascarilla de arroz quemada no presenta buena retención de agua y nutrientes. Este comportamiento ya fue descrito por Calderón y Cevallos (2003), quienes mencionan la baja retención de humedad inicial y la pobre capacidad para conservar la humedad homogéneamente como características de este material cuando se usa como sustrato único. El tratamiento 35CAQ presenta una baja proporción de cascarilla pero una elevada cantidad de fibra de coco; material con alta capacidad de retención de agua, característica que puede desfavorecer la aireación de sistema radical y con ello limitar la toma de agua y nutrientes.

Baracaldo *et al.* (2010) encontró que al comparar las curvas obtenidas de las plantas de clavel Nelson sembrado en los tres sustratos para las variables antes mencionadas, el desarrollo de la segunda producción fue más rápido, debido a que se contaba con una masa seca previa del primer ciclo de producción. Los valores alcanzados al final de la evaluación para las variables área foliar, masa seca del tallo, foliar y total superan a los obtenidos por Cárdenas *et al.* (2006), lo que indica mayor eficiencia en fijación de carbono y en asimilación de nutrientes en la segunda producción o pico de cosecha.

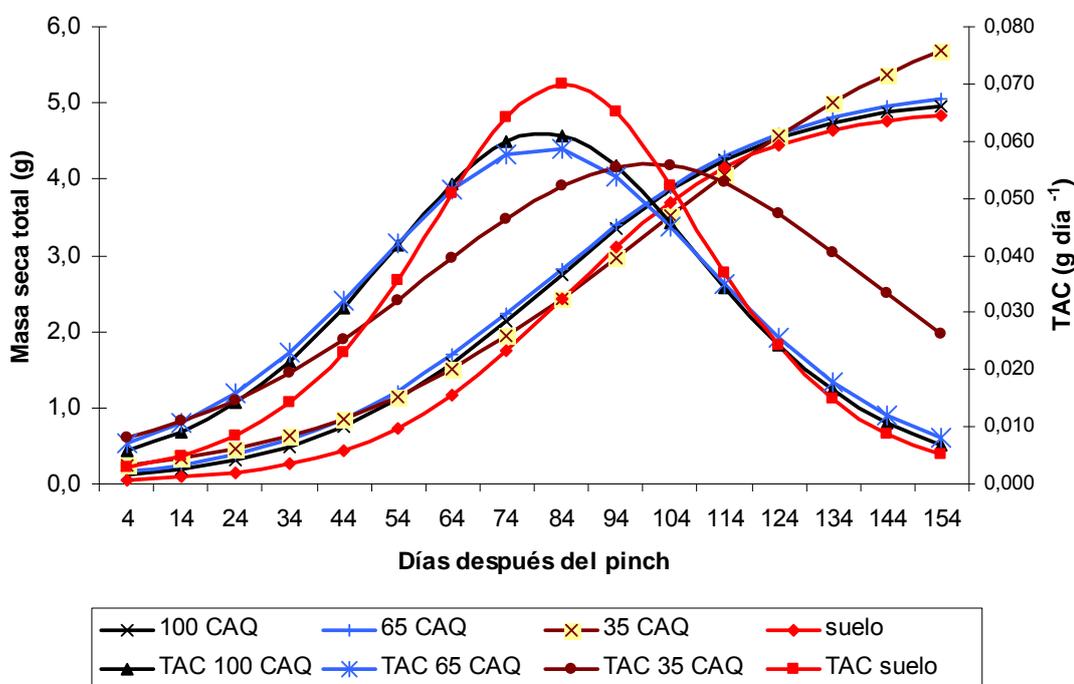


Figura 2-5: Comportamiento de la masa seca total y su respectiva tasa absoluta de crecimiento (TAC) en plantas de clavel estándar cv. Delphi, establecidas en los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

2.2.6 Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)

Es la medida principal del análisis de crecimiento y se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (Villar *et al.*, 2004). Representa la eficiencia de la planta como productor de nuevo material y se propone como una medida que integra el comportamiento fisiológico de la planta (Radford, 1967)

En la figura 2-6 se evidencia que la máxima TRC en el presente ensayo, ocurre al inicio de la evaluación y decrece con la edad de la planta, conforme a lo planteado por Brown (1984) y citado por Baracaldo *et al.* (2010). Las plantas evaluadas en el tratamiento suelo exportaron asimilados de forma más rápida, presentando mayores valores hasta el día 94 ddp, seguido por las plantas evaluadas en el tratamiento 100CAQ y 65CAQ, la TRC más baja la presentaron las plantas sembradas en el tratamiento 35CAQ, sin embargo, éstas

presentaron el descenso menos marcado en la acumulación de masa seca. El cambio más abrupto se observó cuando las plantas pasaron de la etapa de transición de fase vegetativa a fase reproductiva.

A partir del día 94 y en particular del día 114 ddp, la acumulación de masa seca de las plantas en todos los tratamientos disminuyó marcadamente, debido al proceso característico del llenado del botón floral, mostrándose un comportamiento similar de las plantas en los sustratos al presentado por Cárdenas *et al.* (2006). Además mencionado comportamiento confirma que este decrecimiento se debe al hecho que una parte del incremento es estructural más que de actividad metabólica en tejidos, y también se debe en parte al sombreadamiento y al incremento de la edad de las hojas bajas (Brown, 1984).

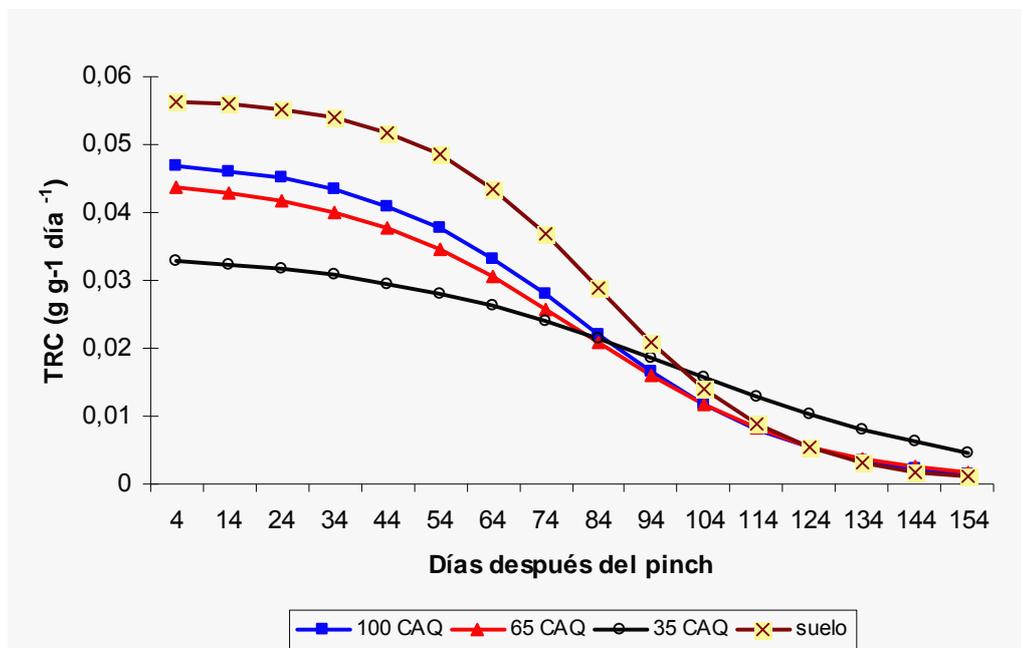


Figura 2-6: Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

Según Grime y Hunt (1975), la mayor TRC la alcanzan las especies cultivadas en condiciones de mayor fertilidad, por lo que en este estudio se infiere que la disponibilidad de nutrientes para las plantas establecidas en sustratos fue mayor. La TRC en el sustrato suelo puede ser más baja, producto de varios factores que pueden afectar el entorno

edáfico, el cual influye en el desarrollo de las raíces, porque aunque éste sea controlado genéticamente, las raíces son susceptibles al impedimento mecánico, la temperatura, la aireación, la disponibilidad de agua y de sales (Salisbury y Ross, 2000); además las plantas manifiestan cambios en sus características de desarrollo y estructura, producto de su exposición en ambientes particulares (Grime y Mackey, 2002).

2.2.7 Índice de Área Foliar (IAF)

Expresa la superficie de la hoja por unidad de área de superficie ocupada por la planta. Aumenta con el crecimiento del cultivo hasta alcanzar un valor máximo en el cual se alcanza la máxima capacidad de interceptar la energía solar, momento en que la TCC es a su vez máxima. El IAF permite inferir la capacidad de la planta para interceptar radiación solar en el tiempo (Hunt, 1990).

En la Tabla 2-2 se observa que las plantas establecidas en los sustratos mostraron un comportamiento similar en la producción de follaje, mientras en el tratamiento suelo presentó un IAF inferior, observándose marcadas diferencias. Las plantas sembradas en 100CAQ presentaron un mayor IAF con relación a las sembradas en las mezclas, sin presentarse prácticamente diferencias. Los tres tipos de sustratos reportaron IAF máximos similares, con valores de 3,28; 3,19 y 3,16 para los sustratos 100CAQ, 65CAQ y 35CAQ, respectivamente. Las plantas establecidas en suelo mostraron un valor de IAF máximo de 3,02. A partir de los IAF se puede indicar que en un cultivo de clavel cv. Delphi por cada m² de suelo o superficie sembrada existen entre 3,02 y 3,28 m² de hojas encargadas de participar en el proceso fotosintético.

Los IAF hallados son inferiores a los reportados por Partridge *et al.* (1983) quienes indicaron un valor de 6,0 para cultivo de clavel sembrado en California y los encontrados por Cárdenas *et al.* (2006) en clavel cv. Nelson cultivado en los mismos tipos de sustrato, y cuyo valor promedio fue de 4,5. De igual forma, también son menores a los reportados por Lee *et al.* (2002) para otras especies ornamentales como Crisantemo quienes determinaron IAF del orden de 4-8 con densidades de 32-64 plantas/m².

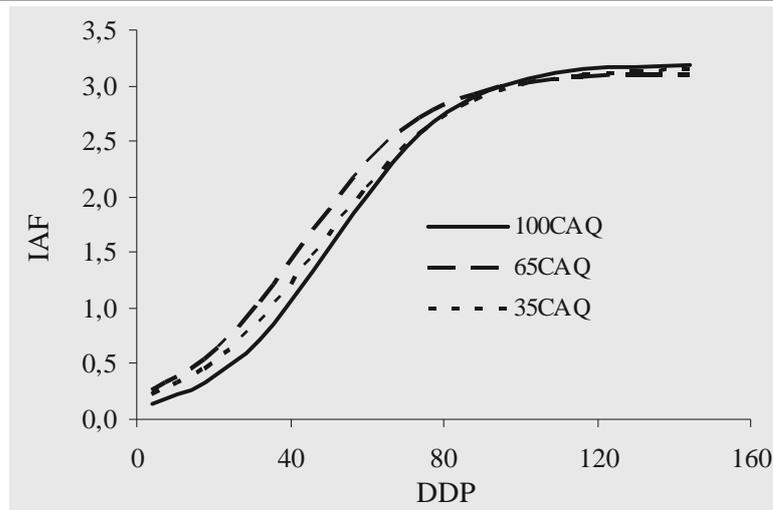


Figura 2-7: Comportamiento del índice de área foliar IAF en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de pinchar. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco

En arveja (*Pisum sativum*) y haba (*Vicia faba*) Dennett e Ishag (1998) reportan índices máximos de 6,3 y 4,2, respectivamente, con densidades de 80 plantas/m² en arveja y 20 plantas/m² en haba. En especies hortícolas como brócoli y repollo Carranza *et al.* (2008) presentan IAF máximos de 1,76 y 5,17, respectivamente.

2.2.8 Tasa de Asimilación Neta (TAN)

La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta o del canopi de un cultivo (Hunt, 1982). En los cultivos en sustrato se puede presentar incremento en la salinidad, una vez inducido en el contenedor (Teres,2001); se ha reportado que mencionada condición reduce la tasa de crecimiento y en consecuencia la producción en los cultivos por una disminución de la eficiencia fotosintética (TAN), ya sea por la disminución en la asimilación de fotosintatos, por reducción en el conjunto de nucleótidos y el gasto adicional de energía, por la disminución de la conductancia estomática o por altos niveles de los iones sodio y cloro en el tejido foliar (Chartzoulakis y Klapaki, 2000)

Para las plantas establecidas en el tratamiento suelo del ensayo propuesto, los mayores valores de TAN se alcanzaron entre los 54 y 74 días después del *pinch*, siendo su máximo valor 0,00045 g.cm⁻².día⁻¹. A partir de esta época y previo a los 54 días las plantas presentaron menores valores, producto quizá de alguna limitante ecofisiológica, las plantas fueron menos eficientes en alcanzar las mayores tasas de fotosíntesis (Fig. 2-

8). Se observó en este tratamiento una condición atípica, ya que la TAN es alta cuando todas las hojas están expuestas a la radiación solar plena, y por esta razón, más alta cuando las plantas son pequeñas y las hojas tienen pocas posibilidades de autosombrarse (Marcelis *et al.*, 1998), condición que debió presentarse con el desarrollo del cultivo para mencionada etapa (54 a 74 ddp).

En las plantas correspondientes a la siembra en sustrato, la TAN fue más alta en los primeros días después del *pinch*, indicando en este período una mayor eficiencia en la asimilación de CO₂. Se observó que en los tratamientos 65CAQ y 35CAQ hay un repunte en la TAN entre los 54 y 94 días después del *pinch*, mientras en el tratamiento 100CAQ muestra una tendencia decreciente desde la primera semana después del *pinch*. Con el desarrollo de las plantas, más y más hojas están total o parcialmente sombreadas; el decrecimiento de la TAN con la edad de la planta puede deberse parcialmente a la edad promedio de las hojas más viejas, resultando en bajas eficiencias fotosintéticas (Brown, 1984).

La TAN expresa un crecimiento más sostenido de las plantas sin variaciones importantes en la distribución de los asimilados en el tratamiento 35CAQ. A partir del pico de desbotone (semana 22) y hasta el punto de corte (semana 27 a 30) la TAN disminuye en todos los tratamientos pese a los incrementos en el área foliar, ya que debe redireccionar los fotoasimilados para el llenado del botón floral y decadencia general en el vigor de la planta.

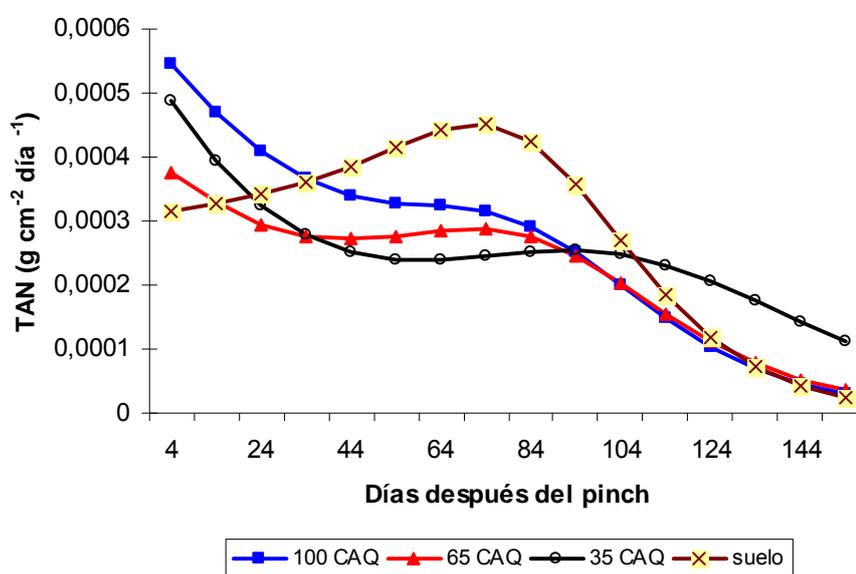


Figura 2-8: Comportamiento de la tasa de asimilación neta (TAN) en las plantas de clavel cv. Delphi cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

2.2.9 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Este índice mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta. Es aplicable a plantas que crecen juntas o en cultivos cerrados (Hunt, 1990). La TCC es importante en la interpretación de las diferencias en rendimientos entre la variedades de cultivos y prácticas culturales (Brown, 1984),

En la figura 2-9 se aprecia para este ensayo, que entre el periodo comprendido entre los 4 y 54 ddp la TCC de las plantas cultivadas en suelo fue menor en comparación de las plantas cultivadas en sustrato, las cuales presentaron un comportamiento similar. Este comportamiento obedece a que las plantas establecidas en sustrato presentaron mayor IAF (Fig. 2-7) y menor TAN (Fig. 2-8); además la TCC es baja en estadios tempranos del desarrollo debido a una cobertura incompleta y al bajo porcentaje de interceptación de luz. La mayor TCC la alcanzaron las plantas establecidas en el suelo en el día 84 ddp, seguido por la TCC de los tratamientos 100CAQ y 65CAQ en igual periodo posterior al *pinch*. El tratamiento 35CAQ alcanzó la mayor TCC a los 104 ddp. La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para optimizar el uso de los factores ambientales, generalmente coincide con los estadios de fructificación temprana (prefloración).

La TCC de las plantas establecidas en suelo y sustratos 100CAQ y 65CAQ disminuyó desde el día 84 en adelante, mientras el tratamiento en 35CAQ lo hizo más tardíamente y en forma menos vertiginosa; este decrecimiento se debe a la madurez de la planta producto del cese del crecimiento vegetativo, pérdida de las hojas y senescencia de las mismas.

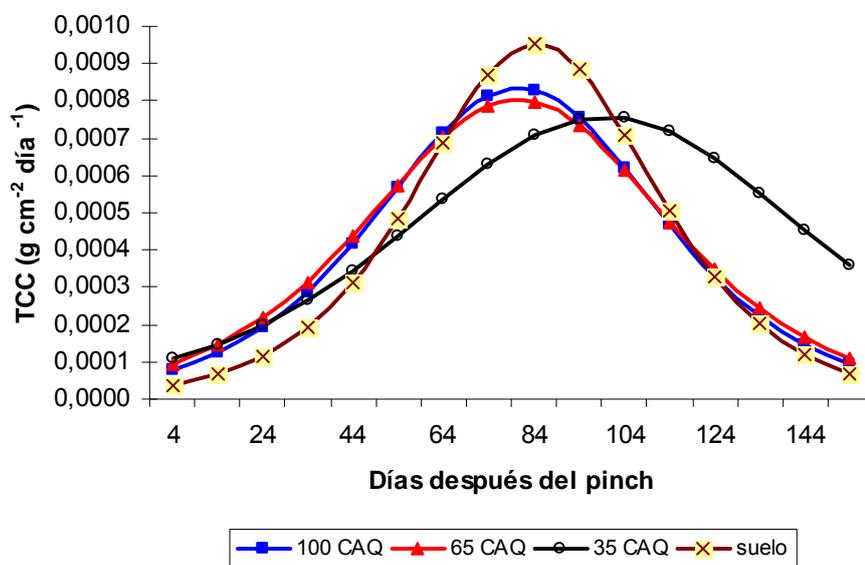


Figura 2-9: Comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en las plantas de clavel cv. "Delphi" cultivados en diferentes sustratos en función de los días después de *pinch*. 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

3. Evaluación de los niveles de concentración de nutrientes, en los diferentes estadios de desarrollo fenológico de clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) variedad Delphi, cultivado en condiciones de la sabana de Bogotá

Resumen

Producto de la creciente demanda del cultivo de clavel en la modalidad de sustrato, parte la investigación en la floricultura debe conducir a caracterizar el comportamiento fisiológico de esta especie en este medio de cultivo, y en particular para cada una de sus variedades. Este trabajo analizó la concentración de nutrientes en plantas completas del clavel estándar cv. Delphi, cultivado en esta condición. Se determinaron los contenidos en planta completa de N, P, K, Ca, Mg, S y micro elementos en las etapas fenológicas denominadas “despunte” o “*pinch*” (semana 5), “transición de vegetativo a floral” (semana 11 y 15), “pico de desbotone” (semana 22) y “punto de corte” (semana 27 y 30). En el sistema de cultivo sin suelo se emplearon como sustratos cascarilla de arroz quemada, cascarilla de arroz 65% - fibra de coco 35%, cascarilla de arroz 35% - fibra de coco 65% y se evaluó la respuesta de las plantas sembradas en el suelo. Los resultados mostraron variación de cada elemento con la fenología del cultivo; los niveles de concentración de N presentaron bajos valores, según los rangos preestablecidos. Los contenidos de P, Mg, Fe y Zn presentaron valores altos a excesivos en todos los sustratos y etapas fenológicas. Valores normales en su concentración se presentaron para los elementos Ca, Cu, Mn y B, mientras el K mostró valores de absorción normales hasta la semana 22 y posteriormente la absorción fue deficiente.

3.1 Materiales y métodos

3.1.1 Ubicación

La presente investigación se realizó en el área de invernaderos del Centro de Biotecnología Agropecuaria de Mosquera: Convenio Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Universidad Nacional de Colombia, ubicado en la sabana de Bogotá zona sur occidente, cuyas coordenadas geográficas corresponden a 74,2° Longitud Oeste y 4,7° Latitud Norte.

La zona en mención se ubica en la cuenca media - alta del río Bogotá, con características de zona de vida correspondientes a bosque seco montano bajo (bsmb), temperatura media de 13,1°C, humedad relativa media de 80,7 %, brillo solar diario medio 4,6 h, velocidad del viento 1,7 m.s⁻¹ (www.ideam.gov.co) y precipitación anual media de 680 mm.

El ensayo se ubicó en cuatro naves de un invernadero tradicional en madera, cada nave con dimensiones de 65 x 6,8 m, para un total de 1768 m². Se contó con un reservorio de 1042 m³ de capacidad de almacenamiento como fuente de agua; canales de drenaje y recolección de aguas lluvias, caseta de bombeo, filtrado y un sistema de fertirrigación y recolección de lixiviados.

3.1.2 Material vegetal

Para el establecimiento del ensayo se utilizó clavel estándar cv. Delphi, de color blanco, proveniente de esquejes con raíz, cedidos por Suata Plants S.A.

Se construyeron diez camas (15 x 0,85 m) elevadas por nave, compuestas de dos contenedores plásticos. Se sembraron 540 plantas por cama, para una densidad de siembra de 24,7 plantas m⁻²-invernadero. Los esquejes se sembraron en surcos dobles a una distancia de 11 cm entre plantas y 22 cm entre surcos. Durante las dos primeras semanas de siembra se regó solamente con agua y, en seguida, se aplicó la fórmula de fertirrigación para la fase vegetativa descrita en la tabla 3-2, a través de un sistema de riego por goteo.

3.1.3 Fertirriego

La distribución del sistema de riego correspondió a cuatro líneas de goteo de 17 mm por cama, con goteros tipo hidro P.C. A.D. y caudal de 1,2 L.h⁻¹ incorporados cada 20 cm. El agua cruda (Tabla 3-1) se bombeo desde el cabezal, ubicado en el reservorio principal y se encausó hacia la caseta de filtrado, riego y fertilización. El sistema de inyección de solución fertilizante estuvo compuesto por inyectores tipo *venturi* y válvulas solenoides para un riego automatizado a través de controlador de riego marca Priva.

Tabla 3-1: Análisis de caracterización química de la calidad de agua para riego (proveniente del reservorio) aplicada en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi.

pH	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃	Cl	SO ₄	PO ₄	NO ₃	Ca	K	Mg	Na	NH ₄	B	CE	RAS
	mg/L como CaCO ₃			mg/L										dS/m	meq/L
6,60	0,0	0,0	76,9	128	56,5	8,64	45,0	32,6	11,9	18	106	2,71	0,09	0,77	3,70

En la Tabla 3-2 se presentan las dos fórmulas de un programa de fertilización comercial utilizadas comúnmente en el cultivo de clavel sembrado en la modalidad de sustrato en la Sabana de Bogotá. Las soluciones fertilizantes fueron suministradas por la compañía Brenntag Colombia S.A.

La frecuencia de riego fue diaria para todos los tratamientos, con volumen diferencial en el suministro de agua por estadio fenológico del cultivo. A partir de la semana 5 después de la siembra (*pinch*) a la semana 14 el promedio fue de 60 L.cama experimental⁻¹.-día; en la etapa del cultivo de la semana 15 a 26 se incrementó a 90L/cama experimental/día y se finalizó con un promedio de 50 L.cama experimental⁻¹.-día. La distribución de la frecuencia diaria del volumen de riego por tratamientos fue de 6 pulsos para 100CAQ, 5 pulsos para 65CAQ y 4 pulsos para 35CAQ y suelo. En algunas circunstancias fue necesario aplicar riego complementario de refresque con poma de mil orificios.

Tabla 3-2: Fórmulas de fertilizantes (mg.L⁻¹) aplicadas en el desarrollo del cultivo de clavel cv. Delphi.

Formula Fertilización	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	B	Mo
Clavel - fase vegetativa	200	30	150	150	60	72	4	1	0,5	1	0,1

Clavel - producción continua 150 30 150 150 60 72 2 1 0,5 1 0,1

3.1.4 Sustratos

Se utilizaron 1,35 m³ de sustrato para los dos contenedores plásticos de cada cama y se sembraron plantas de clavel estándar cv. Delphi teniendo en cuenta una densidad de 24,7 plantas.m⁻²-invernadero. Para cada tratamiento se realizó previa a la siembra la caracterización química de los sustratos (Tab. 3-3) y del suelo (Tab. 3-4).

Tabla 3-3: Análisis de caracterización química de los sustratos 100CAQ: sustrato 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ: sustrato mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ: sustrato mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco y suelo.

N	P	Ca	K	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S	Sustrato
%						mg/kg						
0,45	0,03	0,12	0,09	0,05	Ns	1,88	344	107	9,79	12,9	Ns	100CAQ
0,45	0,03	0,14	0,10	0,05	Ns	2,33	342	98,8	10,97	16,3	Ns	65CAQ
0,43	0,03	0,14	0,12	0,06	Ns	1,78	375	93,1	10,39	15,8	Ns	35CAQ
pH	CE dS/m	Humedad		CO oxidable total	Cenizas	CIC meq/100g	C/N	Sustrato				
		A saturación	A 70°C									
		%										
6,24	1,63	350	74,8	25,8	25,9	40,8	61,3	100CAQ				
5,99	1,54	500	81,4	29,1	18,4	42,7	65,1	65CAQ				
5,99	1,53	526	82,3	30,2	15,6	49,8	68,2	35CAQ				

Tabla 3-4: Análisis de caracterización química del suelo sembrado en clavel cv. Delphi.

pH	CE dS/m	CO	N	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	CIC
		%			meq/100g					

5,7	2,37	4,90	0,39	15,2	0,51	3,71	2,25	0,00	24,2	33,4
P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
mg/kg							%			
54,8	167	1,84	327	3,12	33,3	1,06	21	47	32	Franca

3.1.5 Variables evaluadas

Los muestreos para determinar los contenidos de nutrientes en la planta, en los sustratos (incluyendo el suelo) se llevaron a cabo en las etapas fenológicas denominadas “despunte” o “*pinch*” (semana 5), “transición de vegetativo a floral” (semana 11 y 15), “pico de desbotone” (semana 22) y “punto de corte” (semana 27 y 30).

A diario en campo se midieron las variables: volúmenes de riego aplicado y drenado, pH y CE. Las demás variables se determinaron en los laboratorios de la Facultad de Agronomía.

Contenidos de nutrientes en la planta: Se realizó caracterización química completa de submuestras de tejido vegetal de plantas enteras muestreadas al azar de cada una de las unidades experimentales y posteriormente se preparó una muestra homogénea para enviar al laboratorio (Ramírez, 2003). La caracterización química en mención incluyó determinación de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn y B. Los análisis químicos se efectuaron según la metodología propuesta por Carrillo *et al.*, 1994.

Se realizaron los siguientes análisis:

Análisis de nutrientes en las plantas: Se realizaron muestreos en los siguientes estadios: “despunte” (semana 5), “transición de vegetativo a floral” (semana 11 y 15), “pico de desbotone” (semana 22) y “punto de corte” (semana 27 y 30). Para un total de 54 análisis: tres muestreos por seis etapas de desarrollo por tres repeticiones. Igualmente se consideró el análisis de los tejidos vegetales de las plantas establecidas en suelo.

3.1.6 Diseño experimental

El diseño experimental correspondió a bloques completos al azar donde cada tratamiento correspondió al sustrato. Fueron tres tratamientos con tres repeticiones, teniendo como

unidad experimental la cama de 12,8 m²; para un total de nueve camas, y tres camas en suelo para utilizarlas como contraste o testigo comercial.

Los tratamientos fueron 100% cascarilla de arroz quemada (100CAQ), 65% cascarilla de arroz quemada - 35% fibra de coco (65CAQ) y 35% cascarilla de arroz quemada - 65% fibra de coco (35CAQ) y suelo. La determinación de la extracción de nutrientes por el clavel se realizó en plantas completas cultivadas en 100CAQ, 65CAQ, 35CAQ y suelo.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y las medidas se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Los datos se procesaron mediante el paquete estadístico SAS.

3.2 Resultados y discusión

3.2.1 Composición química de los sustratos

En la tabla 3-5 se presentan los valores de probabilidad de la prueba F en el análisis de varianza en la semana 0, en la cual se realizó la caracterización química de cada sustrato empleado en el ensayo. Se encontró que para los elementos cobre y hierro no existieron diferencias estadísticamente significativas. Los elementos para los cuales se identificaron diferencias o cambios en la composición química de los sustratos empleados se presentan en la Figura 3-1

Tabla 3-5: Valores de probabilidad de la prueba F en el análisis de varianza para la caracterización química inicial de los sustratos

	Elemento				
	N	P	Ca	K	Mg
P>F	0.0223*	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**

	Elemento				
	Cu	Fe	Mn	Zn	B
P>F	0.0717	0.8703	0.0001**	<.0001**	0.0011**

*Diferencias estadísticamente significativas. **diferencias altamente significativas.

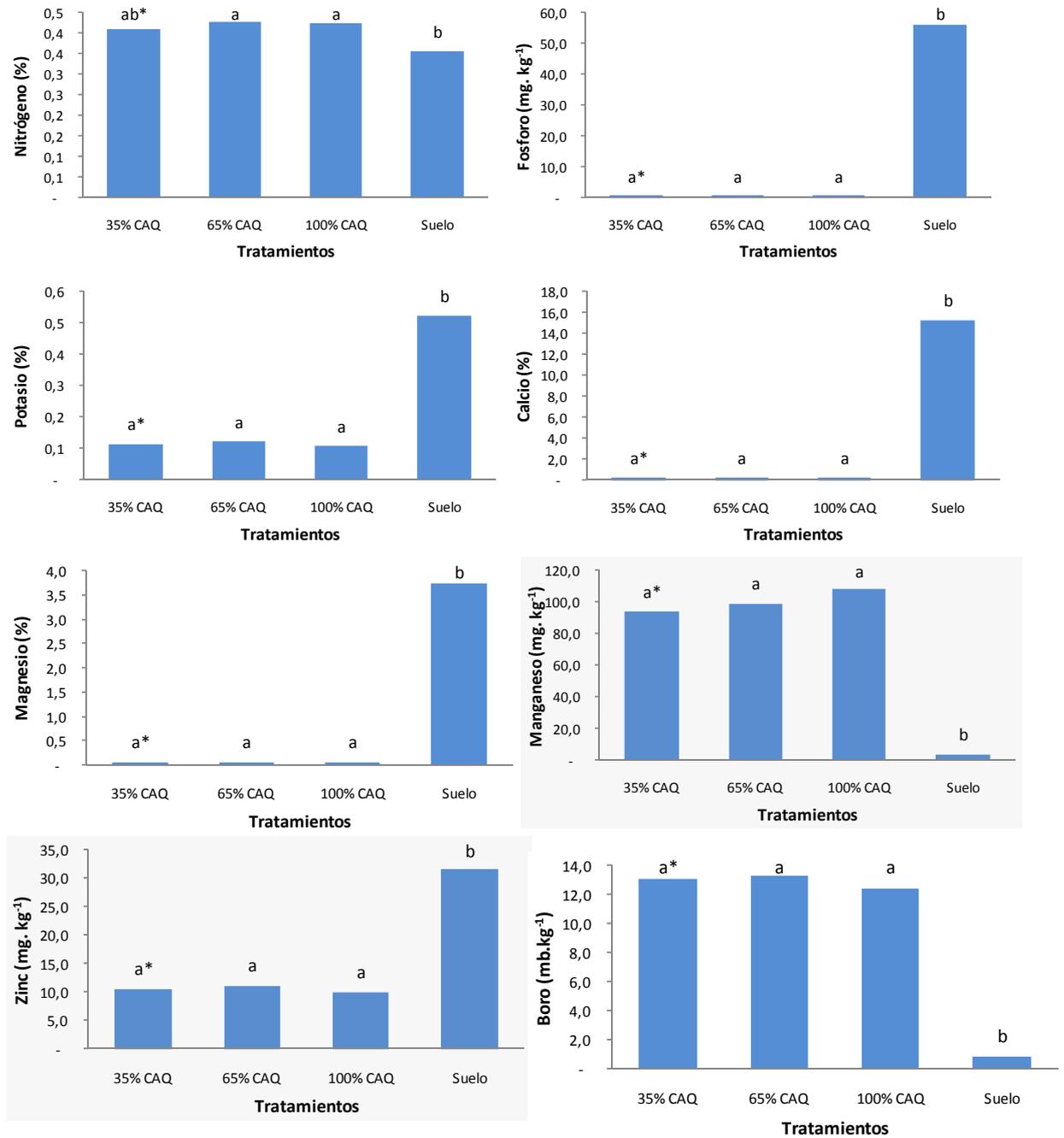


Figura 3-1: Promedio de la composición química de los sustratos cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

Los resultados presentados en la Figura 3-1 indican que no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la composición química de los sustratos empleados en

el ensayo, el contenido de elementos fue similar para los tres. Al contrastar los sustratos con el suelo se evidenció que existieron diferencias altamente significativas; se encontraron concentraciones mayores en el suelo para los elementos P, K, Ca, Mg y Zn; resultado esperado dada la capacidad de almacenamiento del suelo y su composición mineral. Se observó una concentración ligeramente inferior de nitrógeno en el suelo respecto a los sustratos y bajas concentraciones de los micronutrientes manganeso y boro.

Con este análisis se evaluó la composición química de los sustratos y se observó que las plantas establecidas en estos medios de cultivo prácticamente presentaron condiciones similares, indicando que éstos no son inertes sino que interactúan con la solución nutritiva, actúan como reserva de nutrientes, a través de la CIC y que ésta a su vez depende de la condición de pH del medio. De otra parte se observó que en los sustratos empleados se encontraron altos contenidos de manganeso, explicando de esta manera por qué en la solución nutritiva comercial no se adiciona este elemento.

3.2.2 Concentración de nutrientes en la planta por periodo fenológico

En la tabla 3-6 se presentan los valores de probabilidad de la prueba F en el análisis de varianza para cada periodo fenológico y elemento evaluado en el análisis de extracción de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi. Las etapas fenológicas están presentadas en semanas denominadas: “despunte” (semana 5), “transición de vegetativo a floral” (semana 11 y 15), “pico de desbotone” (semana 22) y “punto de corte” (semana 27 y 30).

Tabla 3-6: Valores de probabilidad de la prueba F en el análisis de varianza para cada periodo fenológico y elemento en evaluación de extracción en clavel estándar cv. Delphi, cultivado en suelo y en sustratos.

Elemento	Semanas después de la siembra
----------	-------------------------------

	5	11	15	22	27	30
N	0,1090	0,1924	0,0165*	0,4126	0,9697	0,5928
P	0,2878	0,0671	0,0660	0,1085	0,1398	0,3109
K	0,0964	<,0001**	0,0170*	0,7987	0,5318	0,0079**
Ca	0,0452*	0,0334*	0,0592	0,5852	0,3072	0,3898
Mg	0,0017**	0,0030**	0,0032**	0,0023**	0,0302*	0,0801
S	0,2273	0,0656	0,1625	0,7065	0,2407	0,7016
Na	0,0048**	0,0927	0,0397*	0,2165	0,7383	0,5750
Cu	0,1117	0,0055**	0,0910	0,0637	0,9817	0,0894
Fe	0,9696	0,2942	0,0150*	0,0828	0,1294	0,0129*
Mn	<,0001**	<,0001**	<,0001**	0,0002**	0,0287*	0,0033**
Zn	0,1861	0,0123*	0,9311	0,0022**	0,0231*	0,0924
B	0,9785	0,0404*	0,4059	0,6206	0,5834	0,0786

*Diferencias estadísticamente significativas. **diferencias altamente significativas.

▪ **Semana 5**

Para la semana correspondiente al *pinch* se encontró que para los elementos N, P, K, Cu, Fe, Zn, B y S no existieron diferencias estadísticamente significativas (Tab. 3-6). Los elementos para los cuales se identificaron diferencias en esta semana de evaluación se presentan en la Figura 3-1.

Para la semana 5 dds se determinó que la mayor concentración de Ca y Na se presentó en las plantas establecidas en suelo, en tanto que la menor concentración de Ca ocurrió en el tratamiento con 100CAQ y con respuestas intermedias para los sustratos que contenían fibra de coco, mientras el Na presentó concentraciones similares en los tratamientos que utilizaron sustratos.

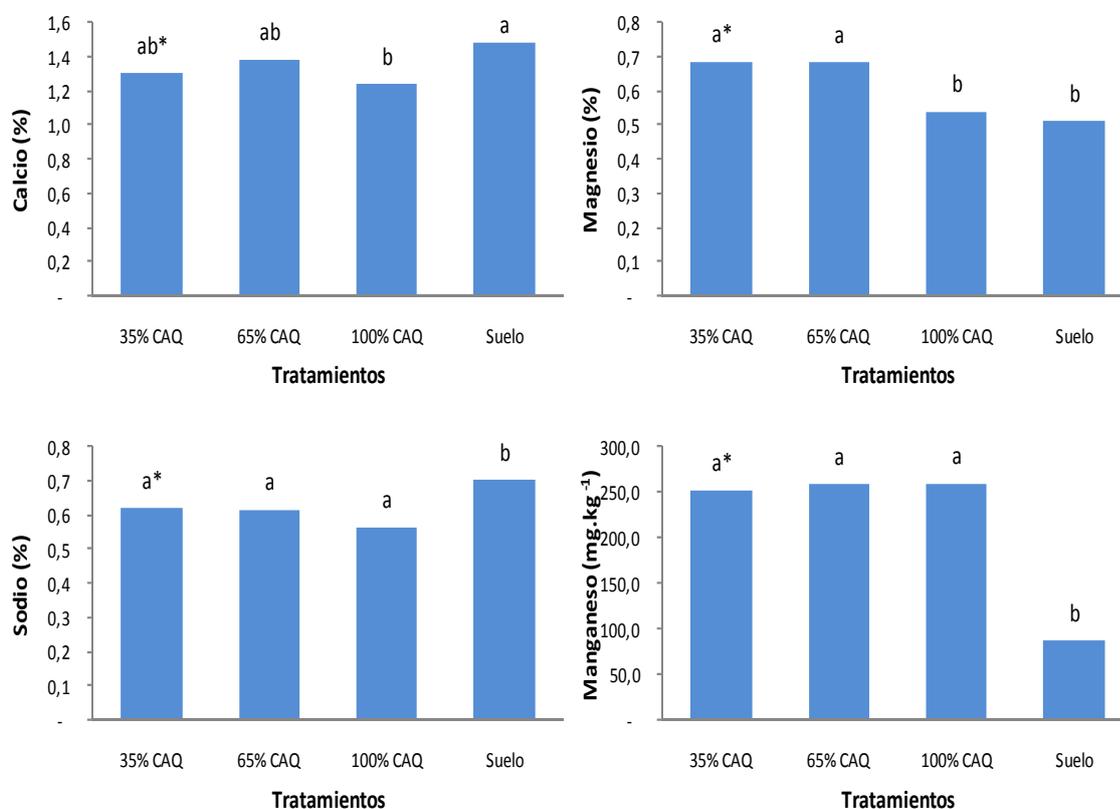


Figura 3-2: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 5 de cultivo (*pinch*), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

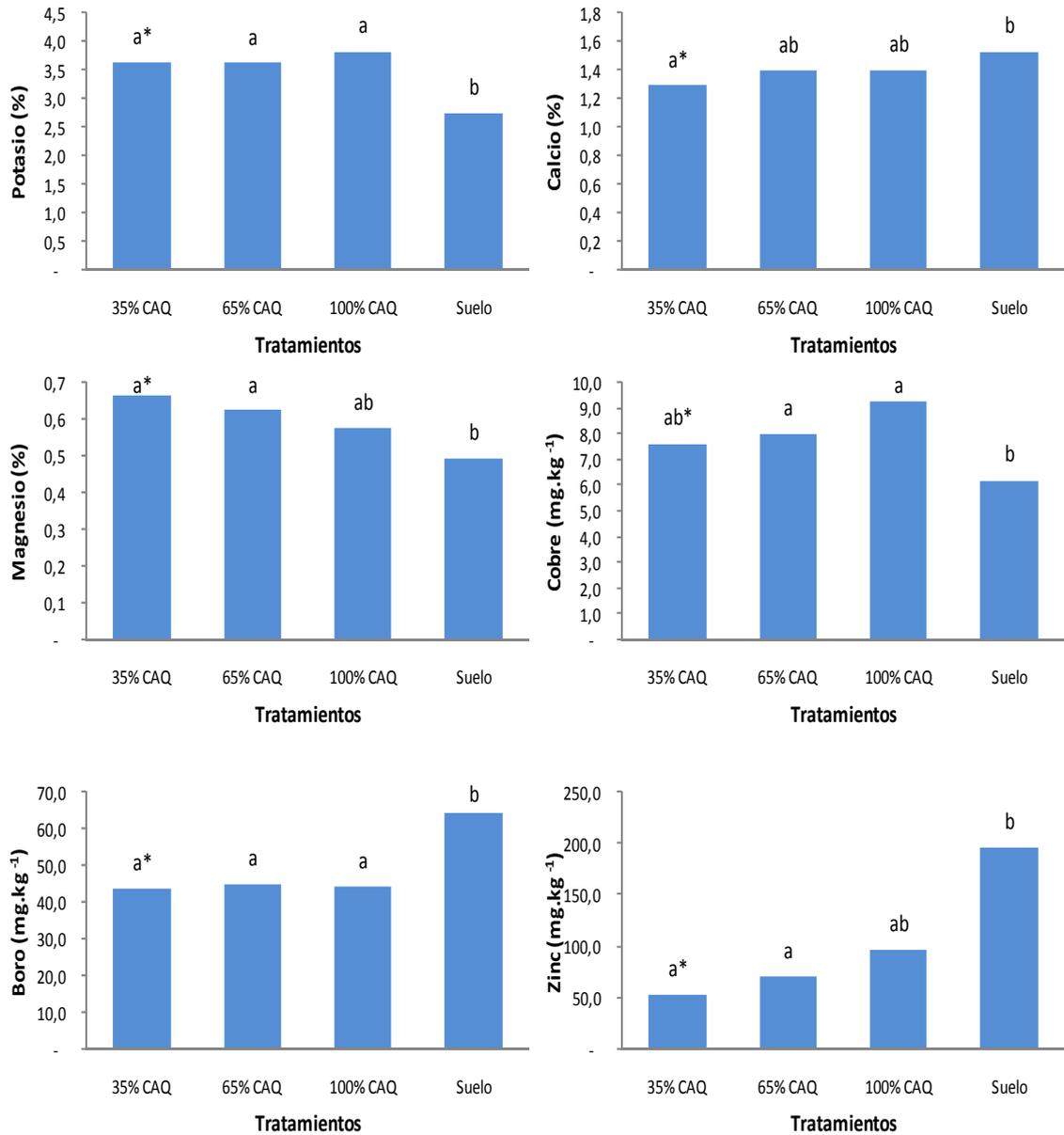
*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

Por otra parte, el elemento magnesio presentó mayor concentración en las plantas establecidas en los sustratos que contenían fibra de coco y menores contenidos en las plantas establecidas en cascarilla y en suelo. El elemento manganeso presentó concentraciones similares en las plantas sembradas en los sustratos y baja concentración en aquellas establecidas en suelo.

▪ **Semana 11**

Para la semana correspondiente a la primera fase de transición de vegetativo a floral se encontró que para los elementos N, P, Na, Fe y S no existieron diferencias estadísticamente

significativas (Tab. 3-6). Los elementos para los cuales se identificaron diferencias en esta semana de evaluación se presentan en la Figura 3-3.



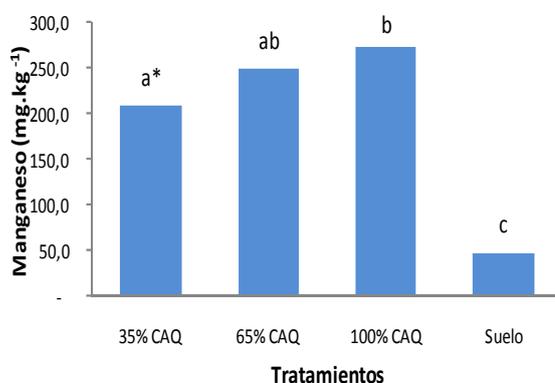


Figura 3-3: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 11 de cultivo (primera fase etapa transición vegetativo a floral), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

Para la semana 11 dds la mayor concentración de Ca, Zn y B se encontró en las plantas sembradas en suelo, mientras las menores concentraciones se obtuvieron en las plantas establecidas en el sustrato 35CAQ para los elementos Ca y Zn. En los tratamientos con cascarilla, las plantas mostraron similares concentraciones del elemento boro.

Los elementos K, Cu y Mn mostraron mayores concentraciones en las plantas sembradas en sustratos en comparación con las establecidas en suelo, cuya concentración fue inferior, particularmente para el elemento manganeso.

El elemento magnesio indicó mayores concentraciones en las plantas establecidas en sustratos, particularmente en las mezclas con fibra de coco y menor contenido en aquellas establecidas en suelo.

▪ **Semana 15**

Para la semana correspondiente a la segunda fase de transición de vegetativo a floral se encontró que para los elementos P, Ca, Cu, B, Zn y S no existieron diferencias estadísticamente significativas (Tab. 3-6). Los elementos para los cuales se identificaron diferencias en esta semana de evaluación se presentan en la Figura 3-4.

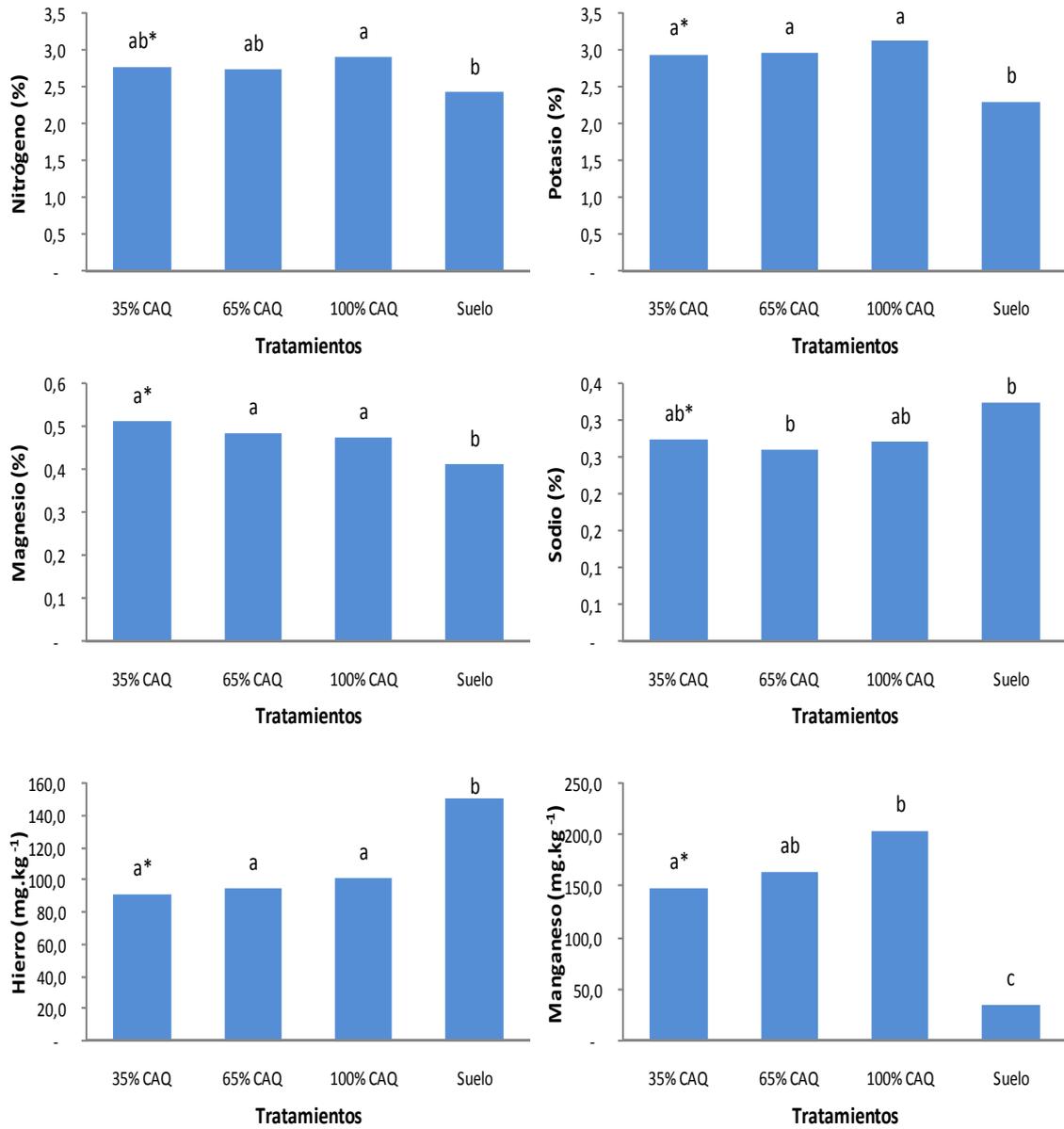


Figura 3-4: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 15 de cultivo (segunda fase etapa transición vegetativo a floral), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

En este periodo los elementos N, Mg, K y Mn presentaron mayores concentraciones en las plantas sembradas en sustrato en comparación con las establecidas en suelo; y para los sustratos que contenían fibra de coco se presentaron contenidos intermedios para los

elementos N y Mn. Los elementos Na y Fe presentaron mayores concentraciones en las plantas establecidas en suelo, y similares en las plantas sobre sustratos.

▪ **Semana 22**

Para la semana correspondiente a la etapa fenológica “pico de desbotone” se encontró que para los elementos N, P, K, Ca, Na, Cu, Fe, B, y S no existieron diferencias estadísticamente significativas (Tab. 3-6); mientras que para los elementos para los cuales se identificaron diferencias en esta semana de evaluación se presentan en la Figura 3-5.

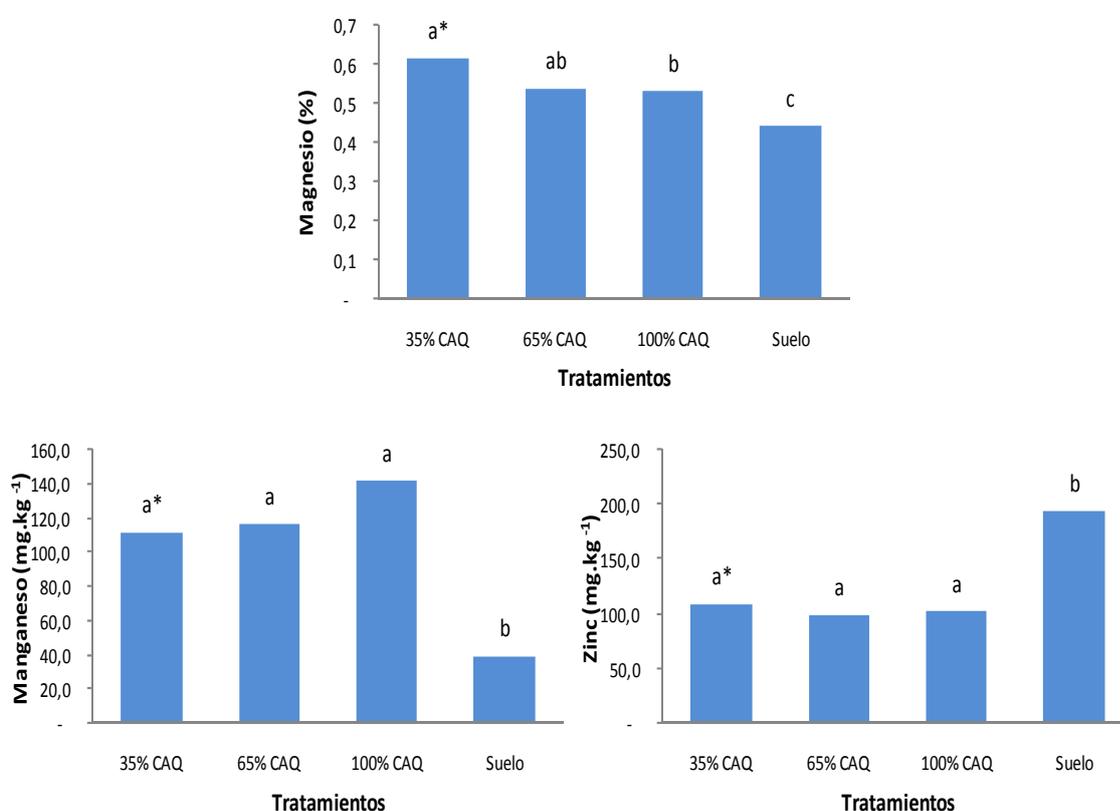


Figura 3-5: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 22 de cultivo (etapa fenológica pico de desbotone), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

Las plantas establecidas en suelo señalan que sus tejidos para este periodo presentan mayores concentraciones del elemento zinc, las plantas sembradas en sustrato

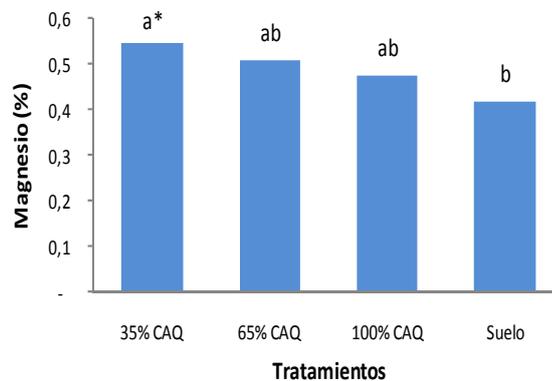
mostraron concentraciones similares entre sí, pero inferiores a las sembradas en suelo. Caso contrario ocurre con los elementos Mg y Mn cuyos contenidos son inferiores a los extraídos por plantas establecidas en sustrato.

▪ **Semana 27**

De manera similar a lo observado en la semana 22, en la semana correspondiente a la primera fase de la etapa fenológica “punto de corte” se encontró que para los elementos N, P, K, Ca, Na, Cu, Fe, B, y S no existieron diferencias estadísticamente significativas (Tab. 3-6). Los elementos para los cuales se identificaron diferencias en esta semana de evaluación se presentan a continuación en la Figura 3-6.

El elemento magnesio en este periodo de “punto de corte” muestra un mayor porcentaje en las plantas sembradas en 35CAQ, respuestas intermedias en los otros sustratos y menor concentración en las plantas provenientes del suelo. Por el contrario el elemento zinc se encuentra en mayores concentraciones en plantas provenientes de suelo y concentraciones similares en los sustratos.

El elemento manganeso indica un menor contenido en las plantas sembradas en suelo y mayor en las sembradas en el sustrato 65CAQ.



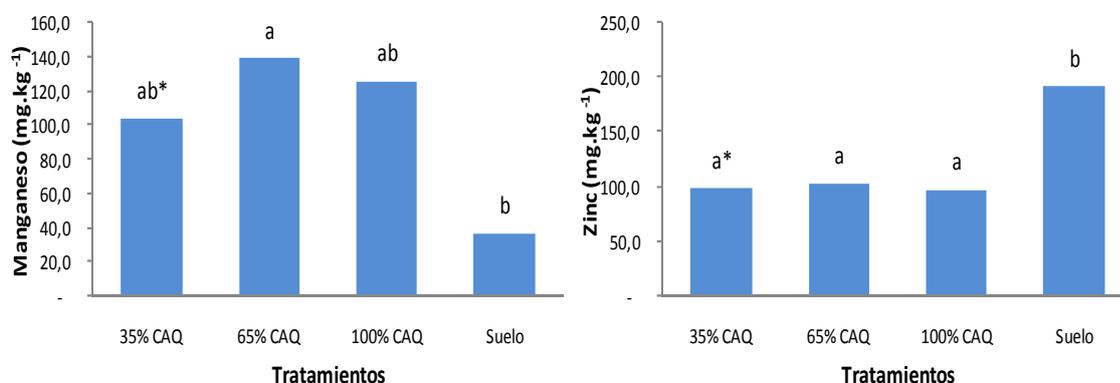


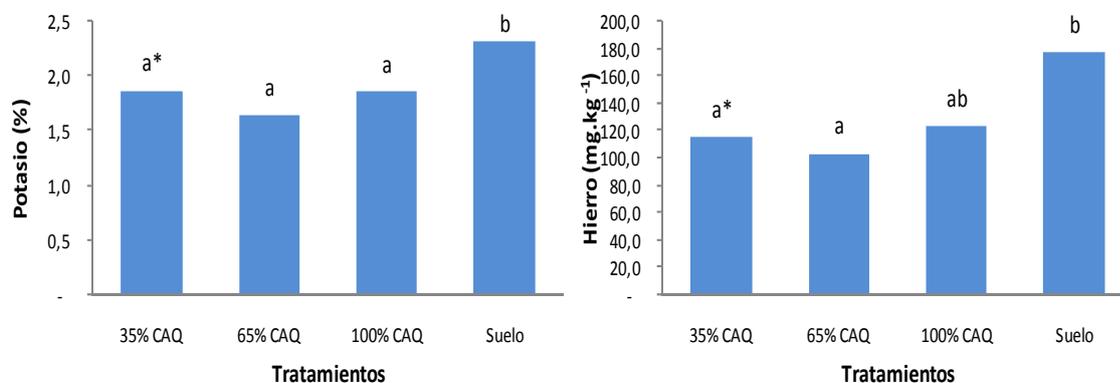
Figura 3-6: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 27 de cultivo (primera fase etapa fenológica punto de corte), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

▪ **Semana 30**

Para la semana correspondiente a la segunda fase de la etapa fenológica “punto de corte” se encontró que para los elementos N, P, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, B, y S no existieron diferencias estadísticamente significativas (Tab. 3-6). Los elementos para los cuales se identificaron diferencias en esta semana de evaluación se presentan a continuación, en la Figura 3-7.

En esta última etapa, las plantas sembradas en el suelo muestran mayores contenidos de los elementos K y Fe con rangos similares - en las establecidas en sustrato. El caso contrario ocurre con el elemento manganeso, cuya concentración es más baja en plantas en suelo, y más alta en las plantas sembradas en 100CAQ.



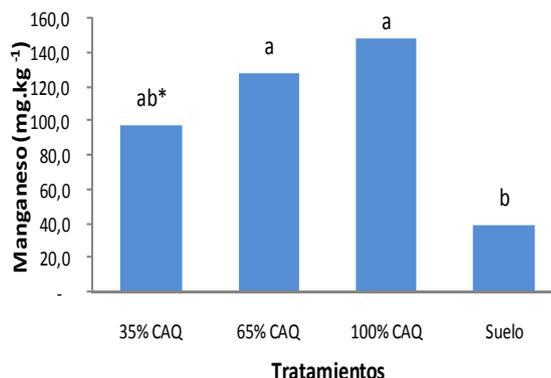


Figura 3-7: Promedio de concentración de nutrientes en plantas completas de clavel estándar cv. Delphi, en la semana 30 de cultivo (segunda fase etapa fenológica punto de corte), cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65 CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y en suelo.

*Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Tukey HSD con una confianza del 95%

3.2.3 Evolución de la concentración de nutrientes en la planta

En la Tabla 3-7 se presenta los rangos de suficiencia de contenidos por elemento para clavel cultivado en la Sabana de Bogotá, propuestos por Ortega (1997), la cual permitirá comparar los contenidos de los elementos encontrados en el presente ensayo.

En las Figuras 3-8 y 3-9 se muestra el contenido de macro elementos por plantas de clavel cv. Delphi, cultivado en varios sustratos y en las etapas fenológicas “despunte” (semana 5), “transición de vegetativo a floral” (semana 11 y 15), “pico de desbotone” (semana 22) y “punto de corte” (semana 27 y 30).

Tabla 3-7: Rangos de suficiencia del clavel cultivado en la Sabana de Bogotá. Datos con base en masa seca (Ortega, 1997)

Elemento	Nivel			
	Deficiente	Normal	Óptimo	Exceso
N	<3,0	3,5 – 5,2	4,2	>5,26
P	<0,15	0,20 - 0,35	0,25	>0,36
K	<2,0	2,5 – 6,3	4,0	>6,3
Ca	<0,6	1,0 – 2,0	1,5	>2,1

Mg		<0,15	0,25 - 0,50	0,38	>0,56
Mn		<30	100 – 300	200	>800
Fe		<30	50 – 150	100	>200
B	(ppm)	<25	40 – 80	60	>100
Cu		<5	8 – 30	20	>36
Zn		<15	25 – 75	50	>80

▪ **Nitrógeno**

En la planta, el nitrógeno se encuentra fundamentalmente bajo la forma orgánica. El contenido de nitrógeno óptimo requerido para crecimiento y desarrollo depende de la especie, del estado de la planta y el órgano; varía entre 1 y 5% de la masa seca de la planta. Este elemento se absorbe como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+); ambos iones se mueven hacia la raíz de la planta por difusión y flujo masivo. En los órganos vegetativos como las hojas se encuentra al lado de las proteínas cloroplastidiales o citoplasmáticas, del 20 al 40% de nitrógeno bajo la forma soluble, en gran parte como aminoácidos libres, y también como aminoácidos aminados (Barker y Pilbeam, 2007). Navarro y Navarro, (2003) menciona que los mayores contenidos de nitrógeno en las plantas se encuentran en los tejidos jóvenes, en éstos, el porcentaje suele oscilar entre 5,5 y 6,5 % en peso seco. A medida que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta y el porcentaje de nitrógeno disminuye, y se eleva la relación C/N; las hojas suelen ser más ricas en nitrógeno pero su contenido disminuye durante la floración.

En la Figura 3-8 se observa que el nitrógeno en el presente ensayo mostró una evolución creciente en la etapa de “despunte” (semana 5) a “transición de vegetativo a floral” (semana 11) en todos los sustratos, alcanzando valores promedio entre 2,7 y 3,2%, por debajo del rango normal, según los parámetros de Ortega, 1997 (Tab. 3-7). Con la evolución en la edad del cultivo el porcentaje de este nutriente disminuyó, alcanzando el rangos de deficiencia; respuesta contraria a lo reportado por Fernández *et al.* (2006) cuyo rango osciló entre 2,9 y 3,7% para clavel cv. Nelson, con contenidos crecientes con el avance en la edad del cultivo. En ensayos realizados por Calderón (2001) en clavel cv.

Nelson cultivado en suelo y en sustrato, encontró que el porcentaje de nitrógeno es ligeramente más elevado en las plantas provenientes sustrato, respecto a las cultivadas en suelo.

Los rangos observados de los porcentajes de este elemento en las plantas de clavel cv. Delphi concuerdan con los descritos por la mayor parte de los autores que sugieren valores entre 3,0 y 3,9% de nitrógeno como óptimos para el cultivo de clavel. Sin embargo, valores más bajos se reportaron por Khattab (citado por Winsor y Adams, 1987), como 2,5-3,7% N para las hojas de tallos vegetativos y 2,5 a 3,9% para tallos reproductivos. Valores aun más bajos fueron reportados por Kazmirova (citado por Winsor y Adams, 1987), quien encontró 2,0-2,7% N y 2,0-2,2% N en las hojas durante el primer y segundo año de crecimiento respectivamente. Estos valores son similares a los encontrados por Winsor (1996) y otros, quienes observaron síntomas de deficiencia por debajo de 2,0-2,3% N en las hojas. Los valores reportados por Fortney y Wolf (citados por Winsor y Adams, 1987) fueron superiores a los encontrados por la mayoría, extendiéndose hasta 5,2% N y con deficiencia por debajo de 3,0%.

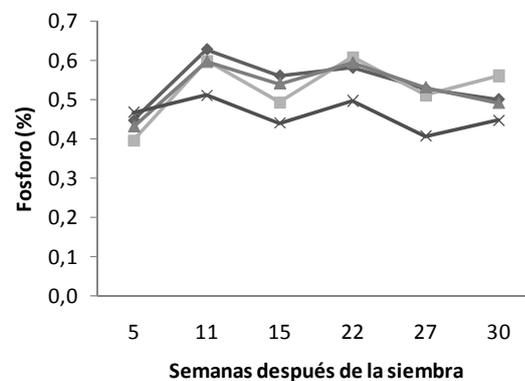
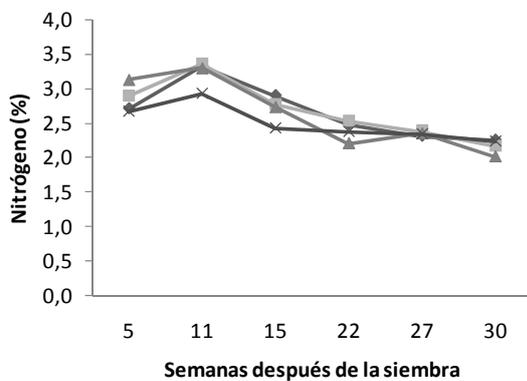
Nelson (1991) reportó un estudio complejo de las respuestas a la concentración de nitrógeno en fertirriego en el rango de 5-900 mg.L⁻¹ de nitrógeno. Los nutrientes fueron aplicados en cada riego a la variedad Improved White Sim cultivada en una mezcla de arcilla: turba: perlita: arena (9:6:4:2). Los valores analíticos correspondientes (concentraciones estándar en tejido) se graficaron con la época del año. Para un cultivo sembrado en junio, el nivel óptimo de nitrógeno aumentó de 3,1% en agosto a 5,0% en marzo, bajando drásticamente a 3,5% en la mitad del verano y luego incrementándose a 4,3% en la primavera siguiente. Nelson (1991) y Boodley (1969) reportaron que las variedades miniatura tenían menor contenido foliar de nitrógeno que las variedades Sim más comúnmente cultivadas.

▪ **Fósforo**

La mayor parte lo absorben las plantas en forma de $H_2PO_4^-$ y en menor proporción como HPO_4^{2-} . Otras formas por las que el fósforo puede ser, posiblemente, absorbido por las plantas son: $P_2O_7^{4-}$ y PO_3^- , así como ciertos fosfatos orgánicos solubles (Epstein y Bloom, 2005). El fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en una concentración variable, su valor medio puede situarse entre 0,5 y 1% de materia seca (Navarro y Navarro, 2003). Los contenidos foliares de este elemento varían entre 0,25-0,35%; se

han reportado valores aún más altos para las hojas de clavel, con valores hasta de 0,7% de P en tallos vegetativos jóvenes.

Hanan (1998) encontró 0,45-0,65% de P en plantas experimentales cultivadas en grava. Holley y Baker (1991) registraron niveles de P particularmente altos para plantas muy jóvenes. Ocho semanas después de siembra, las plantas que recibieron soluciones nutritivas completas tenían 1,01% de P en las hojas, disminuyendo a 0,6% y 0,45% después de 12 y 16 semanas. Incluso valores más altos (1,75% P) se encontraron en plantas jóvenes cultivadas por 8 semanas con concentraciones bajas de Mg (1 meq.L⁻¹ ó 12,15 mg.L⁻¹), aunque el contenido disminuyó rápidamente, llegando a 0,47% P en la semana 16 del tratamiento. Winsor (1996) reportó síntomas visuales de deficiencia obvios, con valores foliares debajo de 0,1-0,15% de P. Fortney y Wolf (citado por Winsor y Adams, 1987) indicaron un valor inferior (0,05% P) debajo del cual las plantas exhiben síntomas de deficiencia resultando en una reducción de crecimiento y calidad.



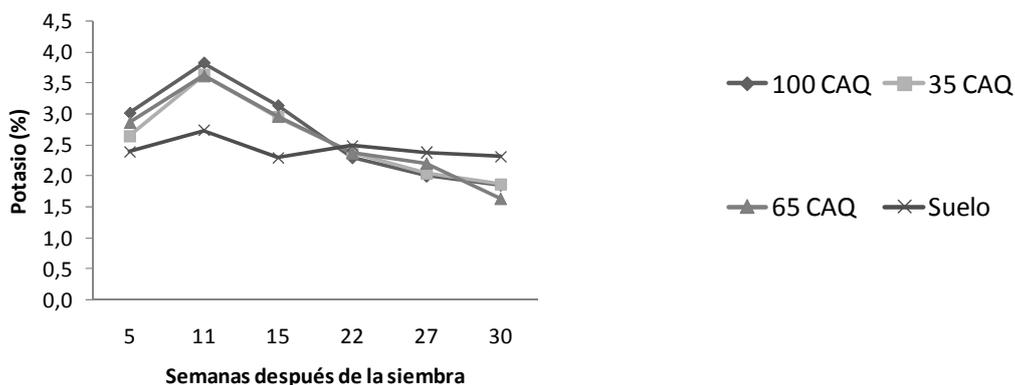


Figura 3-8: Evolución del contenido de los macroelementos N,P,K en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo

El contenido de fósforo varió para todas las etapas fenológicas del cultivo en el presente ensayo, mostrando un comportamiento similar en los sustratos empleados (Fig. 3-8), con valores excesivos según los parámetros de Ortega, 1997 (Tab. 3-7) en todas las etapas fenológicas y sustratos, mostrando una mayor concentración en el sustrato 100CAQ, y menor contenido en las plantas sembradas en suelo; sin embargo, los contenidos de fósforo del presente ensayo encuentran concordancia con los resultados descritos anteriormente de los ensayos realizados por Hanan (1998), Parker (1999) y Holley (1991). El comportamiento del fósforo parece indicar que éste presentó una demanda superior a las necesarias durante todo el ciclo del cultivo, y particularmente en las semanas 11 y 22, correspondientes a los estados de “transición de vegetativo a floral” y “pico de desbotone”. Un comportamiento similar aunque con menores niveles de concentración presentó el clavel cv. Nelson reportado por Fernández *et al.* (2006). Igualmente Calderón (2001) corrobora que las concentraciones de fósforo en el clavel cultivado en sustrato fueron mayores que el cultivado en el suelo. Este elemento puede estar involucrado en el comportamiento de la planta, especialmente en lo referente a la absorción del boro ya que ambos son aniones y puede haber algún tipo de antagonismo no bien definido.

▪ **Potasio**

El potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ , y es un elemento siempre importante en las cenizas vegetales, bajo la forma de óxido potásico. Los datos

publicados acerca del contenido de potasio en las plantas muestran una variación amplia dependiendo de la especie y del órgano evaluado. Los valores recomendados o encontrados en cultivos comerciales de clavel varían entre 2 y 6,3% de K. La deficiencia ocurre por debajo de 2,0% K (Winsor, 1996). Parte de la variación de los niveles está asociada a la edad del cultivo, con valores más altos en el primer ciclo de crecimiento comparado con en el segundo ciclo. Holley y Baker (1991) mostraron una disminución rápida en el contenido de potasio de las hojas en el periodo comprendido entre las 8-18 semanas de siembra. Las 'concentraciones de tejido estándar' desarrolladas por Nelson (1991) indicó como ideales valores entre 5-6% de K en las hojas durante el primer otoño de un cultivo propagado en junio, bajando luego en forma pronunciada a valores de 3%. Criley y otros (citados por Winsor y Adams, 1987) reportaron una disminución en los valores de potasio en claveles cultivados en suelo del primer al tercer pico. Con menos de 0.4% K, se encontró necrosis de las puntas de los cálices.

El contenido de potasio en el ensayo propuesto, presentó concentraciones similares en los tres sustratos, con rangos aproximados a los reportados por Parker (1999) y Holley (1991) en sus ensayos; su concentración varió con la fenología del cultivo, presentándose un aumento en la semana 11 "transición de vegetativo a floral" y disminución en su porcentaje a partir de esta etapa, hasta finalizar el pico de producción (Fig. 3-8). Este elemento mostró intervalos de concentración normales (hasta la semana 22) según los parámetros de Ortega (1997) con rangos entre 2,5 y 3,9% (Tab. 3-7); posterior a la semana 22 su concentración en las plantas fue deficiente, observándose en las plantas cultivadas en el suelo una mayor concentración de potasio en los estados fenológicos finales, contrastados con las concentraciones del mismo encontradas en las plantas cultivadas en los demás sustratos. En los ensayos realizados con clavel sembrado en sustrato por Calderón (2001), se reporta que el potasio presentó mayor contenido en las hojas de la parte baja, aunque en todos los demás órganos su contenido fue menor en los claveles provenientes del suelo que los establecidos en sustrato.

▪ **Calcio**

Absorbido fundamentalmente bajo la forma de Ca^{+2} es, después del potasio, el elemento básico más abundante que existe en las plantas. En las plantas jóvenes se encuentra

preferentemente en las membranas celulares y en una mínima concentración en el citosol, mientras que en las adultas se halla en las vacuolas, principalmente bajo la forma de oxalato. El contenido de calcio en las plantas varía entre 0,1 y 5,0% del peso seco, dependiendo de las condiciones de crecimiento, la especie y el órgano de la planta (Maschner, 1995) El calcio se halla presente en mayor proporción en las hojas y tallos que en las semillas, por ejemplo en los cereales su contenido promedio viene a ser 0,09% en el grano y 0,59% en tallos y hojas (Navarro y Navarro, 2003).

Los contenidos de calcio de las plantas de clavel sembradas en los diferentes sustratos en el presente ensayo, no presentaron variaciones significativas, se observaron valores normales según el rango de suficiencias reportados por Ortega (1997), con niveles entre 1,1 y 1,5% (Tab 3-7); en contraste las plantas sembradas en suelo mostraron una ligera mayor concentración de calcio respecto a los demás sustratos (Fig. 3-9). La concentración de este elemento en las plantas de clavel del ensayo fue normal comparada con la presentada en clavel cv. Nelson reportado por Fernández *et al.* (2006), cuyo elemento mostró variaciones en su contenido en las plantas establecidas en los diferentes sustratos en la etapa de *pinch*, además de observarse una concentración excesiva en el sustrato 100CAQ para mencionado estudio. En la semana 15 el contenido de calcio decreció en todos los sustratos, sin embargo, posteriormente se incrementó levemente hasta la cosecha del primer pico.

Hanan (1998) plantó cultivos sucesivos de clavel con dos meses de intervalo, encontró que el contenido de calcio de claveles cultivados en grava disminuyó progresivamente con el incremento de sales totales en la solución. Los valores de calcio encontrados están generalmente en el rango de 1-2% Ca en el contenido de materia seca de la hoja. El valor encontrado por Puustjarvi (1977) de 0.43% Ca en experimentos en Finlandia con los mismos sustratos está considerablemente por debajo de los valores normalmente reportados. Es posible que esta baja concentración esté asociada con niveles de radiación bajos y transpiración restringida durante los meses de invierno en latitudes altas.

- **Magnesio**

El magnesio es absorbido por la planta como Mg^{+2} , y en ella se halla normalmente un contenido total medio del orden del 0,5% en peso seco; este elemento es un

constituyente metálico de excepción en la molécula de clorofila, cuantitativamente, sin embargo, el magnesio clorofílico sólo representa, aproximadamente, alrededor del 10-12% del total del contenido en la planta (Marschner, 1995).

El contenido de magnesio en el presente ensayo, varió según la etapa fenológica del cultivo en todos los sustratos (Fig. 3-9), con valores entre 0,42 y 0,68%, considerados de normales a excesivos según la Tabla 3-7 (Ortega, 1997), con tendencia a menores concentraciones en la semana 15, donde todas los sustratos presentaron las plantas con la menor concentración de magnesio. La absorción de este elemento presentó una tendencia similar al comparar con el clavel cv. Nelson reportado por Fernández *et al.* (2006), el cual también registró una absorción excesiva con valores comprendidos entre 0,65 y 0,78%. La mayor parte de los análisis foliares de clavel de los experimentos hechos por Holley y Baker (1991) estaban en el rango de 0.2-0.31% Mg, sin embargo, valores de 0.11% se reportaron en plantas que crecieron en sustrato inerte de perlita. Una concentración considerada alta (61 mg.L⁻¹) dio una concentración de 0.74% de Mg en tejido foliar. Parker (1999) y Holley (1991) reportaron que los valores foliares se incrementan ligeramente con la edad. Usando 85 mg.L⁻¹ de magnesio en fertirriego, la concentración aumentó de 0.31% a las 8 semanas de tratamiento a 0.39% a las 18 semanas. En este mismo ensayo, los valores foliares para el tratamiento bajo de magnesio (24 mg.L⁻¹) fueron de 0.16% a 0.21%, sin reducciones notables en rendimiento (peso total de la planta). De acuerdo a Peterson (1982), de 0.16-0.24% es bajo, 0.25-0.5% suficiente y de 0.51-0.55% alto; concentraciones por encima de 0.56% se consideraron excesiva.

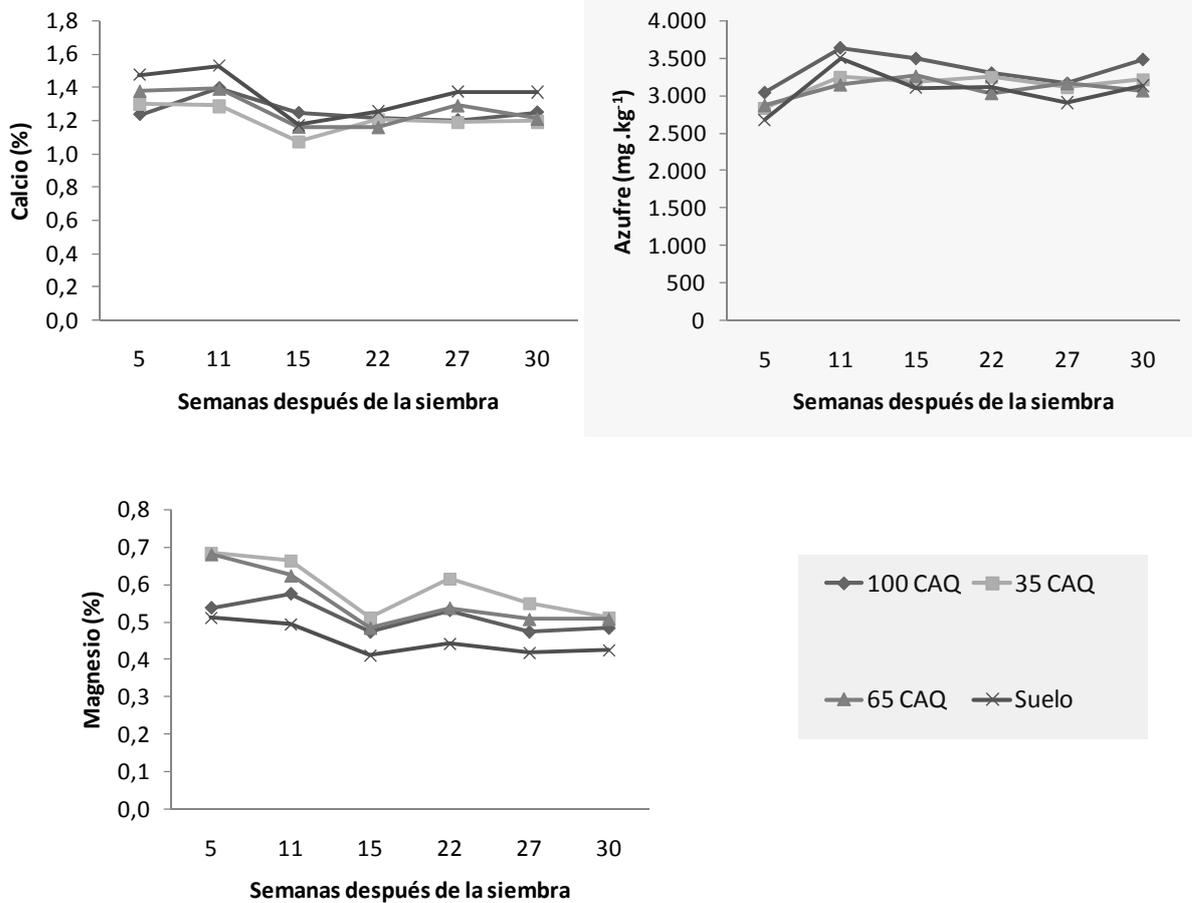


Figura 3.-9: Evolución del contenido de los macroelementos Ca, Mg y S en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo.

▪ **Azufre**

El azufre es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de HSO_4^- , a través de su sistema radicular. En pequeñas cantidades también puede asimilarse como SO_3^{2-} del suelo y como SO_2^{2-} , de la atmósfera, a través de los estomas. La mayor parte del HSO_4^- absorbido se reduce en la planta a compuestos sulfhídricos (-SH), y así, en este estado, se integra a los compuestos orgánicos. Sólo una pequeña parte sin ningún cambio redox, y como tal ión inorgánico contribuye a la regulación osmótica celular (Mengel y Kirkby, 2001).

La cantidad de azufre existente en la planta varía dentro de límites relativamente amplios, y puede situarse entre 0,1-2% de azufre en peso seco; mencionados valores dependen de las necesidades fisiológicas de cada especie, es así como las menores cantidades suelen encontrarse en las gramíneas, y las más altas en leguminosas y crucíferas (Barker y Pilbeam, 2007). El contenido de azufre de las plantas de clavel en el ensayo mostró rangos de concentración normal, con contenidos similares en las plantas sembradas en los sustratos con mezcla de fibra de coco respecto, y ligeramente superiores en las plantas provenientes del sustrato cascarilla (Figura 3-9); mencionadas concentraciones variaron con la fenología del cultivo, cuyo mayor contenido se evidenció en la semana 11 de transición de vegetativo a floral.

▪ **Cobre**

El cobre es absorbido en la planta como Cu^{+2} o como complejo orgánico por vía radicular o foliar. No es muy móvil en el floema, aunque puede desplazarse en cierta proporción de las hojas viejas a las jóvenes; aunque este elemento se puede detectar en los distintos órganos del vegetal, es en las hojas verdes donde se halla en mayor concentración y en las semillas (Barker y Pilbeam, 2007). Se admite que es en el aparato mitocondrial donde está básicamente localizado (70%). El cobre es requerido por las plantas en muy pequeña cantidad; su contenido medio oscila entre 5 y 20 ppm en peso seco. De acuerdo a la parte de la planta considerada suelen observarse corrientemente amplias fluctuaciones; ello se ha evidenciado en distintas variedades de trigo, desarrolladas en la misma condición de sustrato, en donde la diferencia de contenido de cobre llegan casi a ser el triple de una a otra variedad (Navarro y Navarro, 2003).

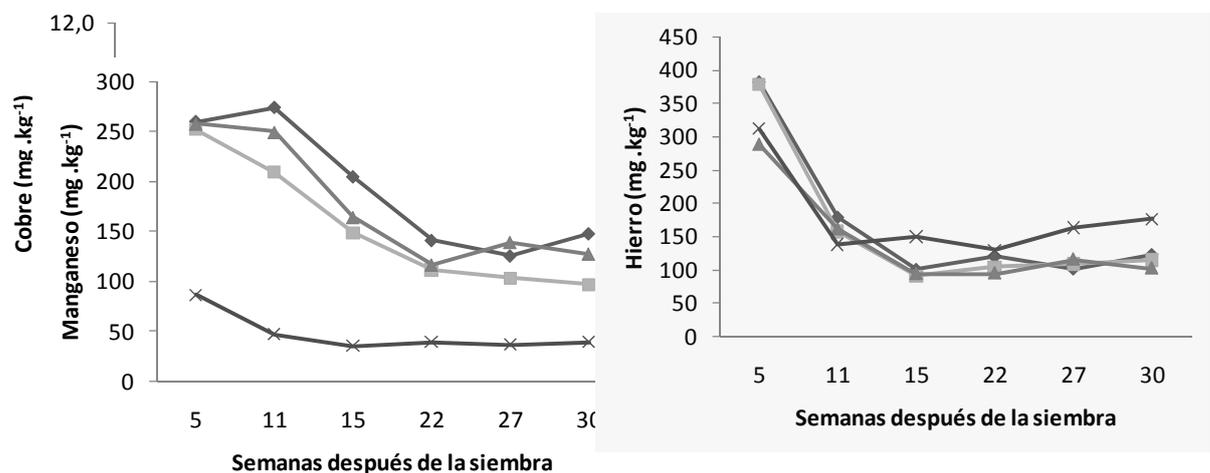
La información publicada de valores típicos satisfactorios en claveles incluye los siguientes rangos: $5\text{-}10\ \mu\text{g.g}^{-1}$, $5\text{-}15\ \mu\text{g.g}^{-1}$, $10\text{-}30\ \mu\text{g.g}^{-1}$ y $20\ \mu\text{g.g}^{-1}$. Se consideran valores bajos los siguientes: $4\text{-}5\ \mu\text{g.g}^{-1}$. Se señala que la deficiencia ocurre por debajo de $5\ \mu\text{g.g}^{-1}$. Penningsfeld (1961) reportó $4.3\text{-}4.8\ \mu\text{g.g}^{-1}$ Cu en los tallos florales de claveles normales, bajando a $1.3\ \mu\text{g.g}^{-1}$ bajo condiciones de deficiencia. El contenido de cobre en las plantas de clavel analizadas mantuvo niveles normales durante el ciclo del cultivo (Fig. 3-10), en los todos los sustratos, según los rangos de suficiencias (Tab. 3-7). Se observó que el contenido de este elemento decreció durante todo el periodo fenológico y que las plantas sembradas en 100CAQ extrajeron mayores cantidades del mismo.

Adams (2002) reportó que a diferencia del crisantemo, cuya floración se afecta considerablemente por la deficiencia de cobre, los claveles parecen ser relativamente tolerables a esta deficiencia. La omisión redujo el vigor de las plantas con pH alto, pero no se observaron síntomas específicos ni se detectaron efectos significativos en el número de flores producidas o en la calidad. Sin embargo, los niveles de cobre en tejido foliar en los tratamientos que no recibieron este elemento fueron muy bajos; a pH 5.9 fue 1 y a pH 7.2 fue de 0.9 $\mu\text{g/g}$ comparado con 7.2 y 5.4 cuando el Cu fue suministrado.

▪ **Hierro**

El hierro puede ser absorbido por la planta mediante su sistema radicular como Fe^{+2} o como quelatos de hierro. En los tejidos de las plantas su contenido varía desde 60 a más de 250 ppm en peso seco; en las regiones meristemáticas donde la multiplicación y crecimiento celular son rápidos, el elemento es requerido por las enzimas mitocondriales, y es en las hojas, concretamente en los cloroplastos, en donde se encuentra la mayor parte de hierro (Mengel y Kirkby, 2001). Algunas especies de hortalizas, como espinaca, lechuga y col contienen entre 100 y 800 ppm en materia seca. En las hojas de árboles frutales oscila entre 120 y 420 ppm, variando en los cítricos entre 70 y 130 ppm, y los cereales presentan valores similares con rangos entre 60 y 130 ppm (Navarro y Navarro, 2003).

Holley y Baker (1991), notando los trabajos de Messing y Peterson concluyeron que el hierro rara vez es un factor limitante en el cultivo de los claveles. En claveles cultivados en grava se observó que niveles altos (5, 15 y 50 mg.L^{-1} Fe) disminuyeron el crecimiento significativamente. El contenido de hierro de las hojas (49-61 $\mu\text{g.g}^{-1}$) no se incrementó apreciablemente en el rango de 0-15 mg.L^{-1} , a pesar de los efectos adversos en el crecimiento de las 5 y 15 mg.L^{-1} , pero se incrementó a 170 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en la concentración más alta evaluada (50 mg.L^{-1} en la solución).



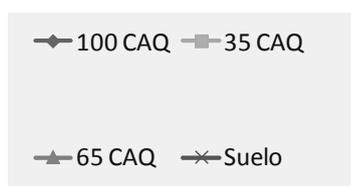


Figura 3-10: Evolución del contenido de los microelementos Cu, Fe y Mn en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivado en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo.

Parker (1999) recomendó niveles de 50-100 $\mu\text{g.g}^{-1}$ Fe en las hojas como adecuados, con deficiencia en el rango de 30-50 $\mu\text{g.g}^{-1}$ Fe. Otros análisis foliares muestran niveles de 73 $\mu\text{g.g}^{-1}$ y 80 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Puustjarvi, 1977). Boodley, citado por Holley y Baker (1991), señaló 50-150 $\mu\text{g.g}^{-1}$ Fe como el rango ideal, mientras Hanan (1998) recomendó 50-100 $\mu\text{g.g}^{-1}$ Fe y Crilley y Carson (citados por Winsor y Adams, 1987) indicaron un valor óptimo de 100 $\mu\text{g.g}^{-1}$. De acuerdo a lo anterior el presente ensayo indica que durante la etapa del *pinch* los contenidos de este elemento en las plantas sembradas en todos los sustratos presentaron valores superiores (excesivos) a los normales (Fig. 3-10), según lo reportado por varios autores y Tabla 3-7 (rangos de suficiencia de Ortega, 1997); con disminución en su contenido en las etapas siguientes y rangos normales para los tres sustratos. En las plantas sembradas en suelo, a pesar, de disminuir el contenido de hierro, los valores extraídos presentaron valores excesivos y con tendencia al incremento en el pico de producción.

▪ **Manganeso**

El manganeso es absorbido por la planta bajo la forma de Mn^{+2} y como quelato, tanto por su sistema radicular como por las hojas directamente. Las necesidades cuantitativas de las plantas en manganeso son relativamente pequeñas, pero varían más que en

cualquier otro micronutriente (Epstein y Bloom, 2005). Los contenidos fluctúan según la especie vegetal, siendo los tejidos verdes los que contienen la mayor concentración. En las hojas puede oscilar entre 30 y 500 ppm en peso seco, los tallos y raíces son los más pobres (Navarro y Navarro, 2003). Los contenidos de manganeso recomendados o encontrados en las hojas de plantas de clavel incluyen valores como 30-250 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Puustjarvi, 1977), 50-150 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Hanan, 1998) y 100-300 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Boodley, 1969).

El contenido de manganeso en el ensayo presentó una tendencia decreciente después de la semana 11, “transición de vegetativo a floral”, y durante el ciclo restante del cultivo (Fig. 3.10), con valores normales para los tres sustratos, según los rangos de suficiencia (Tab. 3.7), indicando que las plantas sembradas en el sustrato 100CAQ mostraron una mayor concentración; por otra parte las plantas sembradas en suelo indicaron una menor concentración de este elemento durante todo el ciclo del cultivo, comparadas con los otros sustratos; de forma general en la medida en que aumenta el contenido de fibra de coco disminuye la concentración de manganeso. Parker (1999) estudió la respuesta de los claveles a concentraciones de 0, 0.5, 10, 25 y 50 mg.L^{-1} de manganeso en plantas cultivadas en grava. En periodo de 6 meses, el crecimiento (peso fresco) no se disminuyó cuando el Mn se omitió de la solución; las hojas contenían 63 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de Mn. El manganeso a 10 mg.L^{-1} no disminuyó el crecimiento en este experimento de relativo corto plazo, y el contenido de las hojas permaneció aceptable (342 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Concentraciones de 25 y 50 mg.L^{-1} indujeron niveles altos de manganeso en el tejido (1190 y 1745 $\mu\text{g.g}^{-1}$) y redujeron el crecimiento.

Calderón (2001) encontró que el manganeso presentó diferencias consistentes y altamente significativas, siendo tres veces más grande en las hojas del clavel sembrado en sustrato que en las del clavel cultivado en suelo. Mencionado estudio concluye que la alta absorción de manganeso en las hojas del clavel hidropónico, posiblemente se origina en el elemento liberado por la cascarilla de arroz así como por concentraciones de este elemento presentes en la solución nutritiva, no siempre declaradas en las respectivas fórmulas líquidas. También puede suceder que la alta absorción de manganeso se acrecienta en parte por la acidez del fertilizante líquido usado así como por acidificación causada por la raíz de las plantas. Lo primero debido probablemente al uso de ácido fosfórico en las fórmulas y lo último a una condición fisiológica propia de las plantas de clavel.

▪ **Zinc**

El zinc es absorbido por la planta como Zn^{+2} o como quelato por vía radicular o foliar. Los contenidos de zinc en las plantas son bajos, y oscilan normalmente entre 20 y 100 ppm en peso seco, valores en función de sus pequeños requerimientos (Navarro y Navarro, 2003). Los cambios metabólicos atribuidos a las deficiencias de este elemento son muy complejos aunque algunos muy típicos y se pueden explicar por sus funciones en reacciones enzimáticas específicas y en paso de rutas metabólicas definidas (Maschner, 1995, Havlin et al, 1999, Azcon-Bieto y Talón, 2000).

Holley y Baker (1991) concluyeron en experimentos llevados a cabo en Colorado State University con claveles cultivados en arena, que con bajas concentraciones de zinc era suficiente para mantener los requerimientos de las plantas. Ellos sugirieron que el uso de tubos galvanizados para el agua de riego mantenía un nivel adecuado de Zn para los cultivos comerciales. Parker (1999) cultivó claveles en grava con 5 niveles de zinc (0, 0.2, 10, 25 y 50 $mg.L^{-1}$); el rendimiento total (peso fresco) se redujo significativamente tanto en los tratamientos donde se omitió y donde se suministró a altas concentraciones (25 y 50 $mg.L^{-1}$). Concluyó que la concentración de 0.2 $mg.L^{-1}$ fue suficiente para suministrar los requerimientos de la planta. Corroborando lo anterior la dosis suministrada en el ensayo (Tab. 3.2) fue baja de 0,5 $mg.L^{-1}$, sin embargo, se evidenció una alta concentración del elemento en los tejidos de la planta; los niveles de este elemento en las plantas señalaron una variación según la etapa fenológica del cultivo en todos los sustratos (Fig. 3.11), con valores excesivos, según los rangos de suficiencia propuestos por Ortega, 1997 (Tab. 3.7). Igualmente se observó una mayor concentración del elemento en la semana 15, “transición de vegetativo a floral”, para las plantas sembradas en los tres sustratos y una respuesta de concentración contraria en todos los estadios fenológicos de las plantas sembradas en suelo, pero con niveles aún más excesivos.

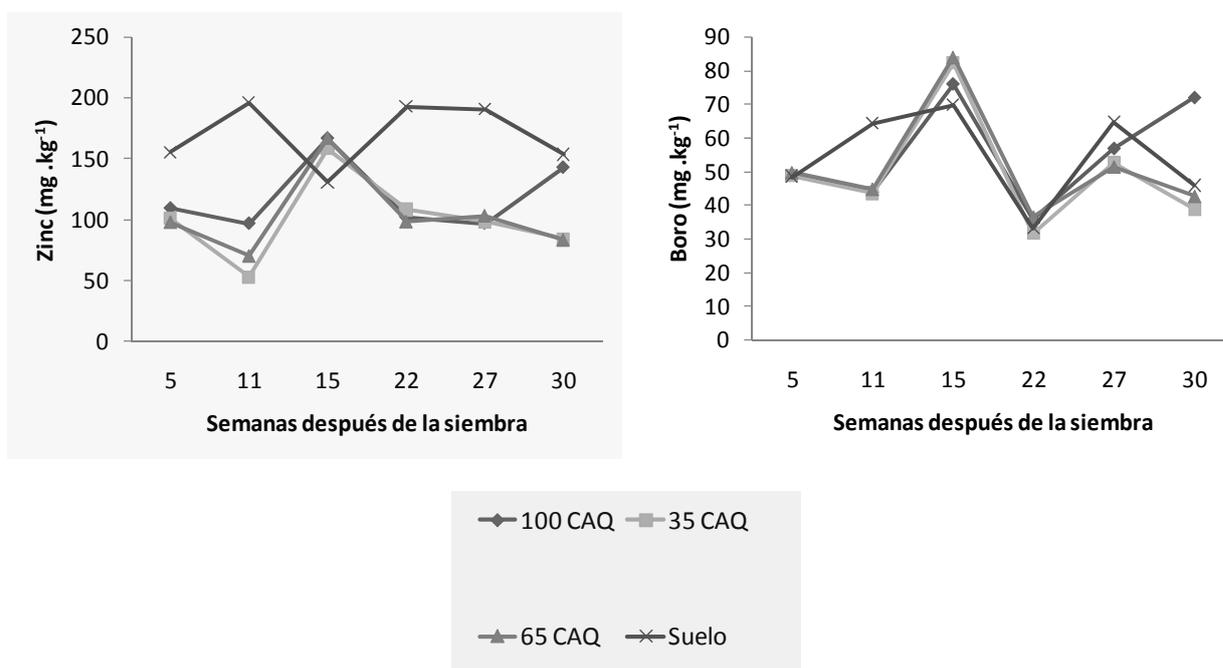


Figura 3-11: Evolución del contenido de los microelementos Zn y B en plantas de clavel estándar cv. Delphi, cultivadas en cascarilla de arroz quemada (100CAQ), cascarilla de arroz quemada 65% - fibra de coco 35% (65CAQ), cascarilla de arroz quemada 35% - fibra de coco 65% (35CAQ) y suelo.

▪ **Boro**

El boro es absorbido por la planta en distintas formas del ácido bórico ($H_3BO_3^-$) y borato $B(OH_4)^-$. Las cantidades requeridas son pequeñas, aunque varían dentro de ciertos límites. Así, en la cebada (monocotiledónea) su contenido es bajo (2 a 4 ppm en masa seca), mientras que en la remolacha (dicotiledónea) los valores pueden situarse entre 40 y 75 ppm (Ae *et al.*, 2001). En general los tubérculos y leguminosas se encuentran con los contenidos más altos, seguidos de los frutales y hortalizas, los cereales son los más pobres. Las hojas y los órganos reproductores presentan siempre los contenidos máximos. También está comprobado que las plantas jóvenes absorben el boro más intensamente que las adultas, y que la movilidad del elemento de los tejidos viejos a los jóvenes es reducida, incluso es frecuente que en una hoja particular pueda contener suficiente boro o exceso del mismo, mientras otra hoja del mismo tallo puede ser deficiente (Navarro y Navarro, 2003). La cantidad óptima para algunas especies, puede ser tóxica o insuficiente para otras (Karabal *et al.*, 2003).

White (1987) registró 28 a 53 $\mu g.g^{-1}$ B en hojas de clavel (secadas al horno) con una media de 37 $\mu g.g^{-1}$. Hanan (1998) recomendó 25 a 100 $\mu g.g^{-1}$ B, con 20 $\mu g.g^{-1}$

considerados como un valor bajo. Fortney y Wolf, citados por Winsor y Adams (1987) señalaron 30 a 100 $\mu\text{g.g}^{-1}$ como normal, con deficiencia por debajo de 25 $\mu\text{g.g}^{-1}$, mientras que Puustjarvi (1977) recomendó 30 a 60 $\mu\text{g.g}^{-1}$ B para plantas cultivadas en sustratos.

El contenido de boro en las plantas evaluadas en este ensayo presentó variaciones en las diferentes etapas fenológicas del cultivo en todos los sustratos, con una concentración similar entre éstos (Fig. 3-11), con valores normales, según los rangos de suficiencia reportados por Ortega (1997) (Tab. 3-7). Se observó un mayor contenido en la semana 15 y menor en la semana 22, "pico de desbotone", con una respuesta en los niveles contrario a lo reportado por Fernández *et al.* (2006), quienes evidenciaron una evolución creciente de este elemento durante todo el ciclo del cultivo. Las plantas sembradas en el sustrato 100CAQ después de la semana 22 mostraron un incremento en la demanda de boro hasta el final del ciclo.

Parker (1999), quien cultivó claveles en cuatro niveles (0, 0,8, 4 y 8 mg.L^{-1} B) en una experimento factorial con dos niveles de calcio (70 y 160 mg.L^{-1}) obtuvo alguna evidencia de la interacción Ca x B en los niveles de deficiencia del micronutriente. Plantas sin boro a 160 mg.L^{-1} Ca contenían sólo 14 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en las hojas, un nivel que normalmente se miraría como deficiente. Sin embargo, con la concentración baja de Ca (70 mg.L^{-1}), el contenido de boro fue de 36 $\mu\text{g.g}^{-1}$ B, un nivel que normalmente se considera adecuado. No se observaron síntomas de deficiencia de boro excepto una reducción en la altura de la planta en ambos niveles de calcio.

Calderón (2001) concluyó que el boro, al igual que el manganeso, presentó diferencias sustanciales en el clavel cultivado en suelo con respecto al hidropónico, esta vez, siendo muy superior (entre dos y tres veces) el contenido de boro del clavel en suelo respecto del hidropónico. La alta absorción de boro por parte de las plantas en suelo comparadas con las hidropónicas se puede originar en una mayor transpiración de las plantas en suelo. Aparentemente un déficit hídrico del follaje en el cultivo hidropónico, aunque no sea aparente a simple vista, puede causar una menor acumulación de boro en las hojas de dicho cultivo. Aunque esta última concentración de elemento podría ser subsanable aumentando el contenido de boro de la solución nutritiva, a la vez que disminuyendo el contenido de fósforo de la misma.

Las concentraciones de boro en las hojas y los pétalos menores de 10 mg.Kg^{-1} en el cultivo de rosa se asocian con algunas de las mayores incidencias de ennegrecimiento de los pétalos, mientras que las concentraciones de calcio en la hojas y los pétalos menores de 1,0% y 0,1% respectivamente son más susceptibles a desarrollar el desorden (Evans *et al.*, 2005).

3.2.4 Correlación entre la concentración de los nutrientes en las plantas de clavel

Existen interacciones específicas e inespecíficas entre los nutrientes minerales de las plantas que afectan las concentraciones de nutrientes y la producción vegetal. Las interacciones entre dos nutrientes son importantes cuando los contenidos de ambos se encuentran cercanos al intervalo de deficiencia. El aumento del aporte de uno de los nutrientes estimula el crecimiento, lo que podría provocar o inducir la deficiencia de otro por un efecto de dilución (Azcón-Bieto y Talón, 2000). La tabla 3-8 muestra los coeficientes de correlación entre la concentración de nutrientes determinados en plantas de clavel establecidas en diferentes sustratos.

Tabla 3-8: Matriz de correlación de la concentración entre los diferentes nutrientes en plantas de clavel var Delphi

	N	P	Ca	K	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
N	1,00											
P	0,17	1,00										
Ca	0,52*	-0,06	1,00									
K	0,87**	0,39	0,25	1,00								
Mg	0,58*	0,07	0,26	0,37	1,00							
Na	-0,05	-0,55*	0,52*	-0,32	0,32	1,00						
Cu	0,56*	-0,03	0,46*	0,57*	0,37	0,36	1,00					
Fe	0,22	-0,67**	0,39	0,01	0,42	0,78**	0,67**	1,00				
Mn	0,68**	0,07	0,09	0,70**	0,69**	0,02	0,69**	0,44	1,00			
Zn	-0,40	-0,29	0,02	-0,37	-0,75**	-0,02	-0,42	-0,24	-0,62*	1,00		

B	0,10	-0,28	-0,23	0,13	-0,42	-0,52*	-0,20*	-0,20	-0,05	0,49	1,00	
S	0,26	0,64**	-0,01	0,44	-0,24	-0,66**	-0,06**	-0,62*	0,03	0,14	0,20	1,00

** Coeficientes de correlación altamente significativos (P <0,01) * Coeficientes de correlación significativos (P <0,05)

Se observa que el macro nutriente nitrógeno es el parámetro que mayor influencia muestra sobre los niveles de concentración de los demás elementos, con excepción del P, B, Fe y S. Igualmente los microelementos cobre y manganeso muestran correlaciones altamente significativas con otros nutrientes.

Las plantas difieren en su capacidad para adquirir nutrientes del medio o sustrato, en la cantidad requerida por unidad de crecimiento, en la concentración de nutrientes en sus tejidos, en el tiempo y grado en el cual se remueven los nutrientes durante la senescencia de órganos como la hoja. Estas diferencias se pueden atribuir a la etapa de desarrollo, las condiciones ambientales y distribución o partición de asimilados hacia los tejidos. Aunque la presencia de un mineral específico no implica que la planta necesite este ión para el crecimiento, es claro que el nitrógeno, fósforo y potasio, son los nutrientes más asociados con el metabolismo y con frecuencia más limitantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999; Azcón-Bieto y Talón, 2000).

3.2.5 Correlación entre la concentración de nutrientes y las variables de crecimiento

La estimación de los requerimientos nutricionales de un cultivo usando datos de productividad (masa seca) y las concentraciones de nutrientes en el mismo es relativamente simple y efectiva (Cabrera, 2003), sin embargo, ésta ignora que la absorción de los nutrientes es afectada significativamente por factores ambientales, edáficos y de la planta. Muy pocos trabajos de investigación han intentado correlacionar la condición nutricional (concentración de nutrientes en la planta) contra los rendimientos de masa seca y flores cortadas en especies ornamentales (Cabrera, 1992). En esta sección se plantea evaluar la relación de la concentración de nutrientes en plantas de clavel completas cv. Delphi con las variables de crecimiento, identificando su incidencia durante el ciclo de cultivo (Tabla 3-9)

Tabla 3-9: Coeficientes de correlación (r) entre los parámetros de crecimiento y la concentración de macro y micro nutrientes en plantas completas de clavel var Delphi

Variable	Nutriente						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
MS_foliar	-0,195	0,669**	0,056	-0,398	-0,444	0,398	-0,791**
MS_tallo	-0,582*	0,539*	-0,335	-0,638**	-0,445	0,498*	-0,585*
MS_botón	-0,585	0,753*	-0,666	0,323	0,731*	-0,485	0,653
MS Total	-0,493	0,598*	-0,244	-0,587*	-0,446	0,69**	-0,663**
Área_foliar	-0,153	0,746**	0,112	-0,442	-0,355	0,379	-0,828
TRC	0,429	-0,532*	0,179	0,636**	0,354	0,457	0,677**
TAN	0,521*	-0,551*	0,318	0,494	0,388	0,687*	0,441
TCC	0,564*	0,419	0,619*	0,182	-0,052	0,285	-0,638**

*= Correlación significativa (P<0,05)

**= Correlación altamente significativa (P<0,01)

Variable	Nutriente				
	Cu	Fe	Mn	Zn	B
MS_foliar	-0,596*	-0,95	-0,416	0,17	0,115
MS_tallo	-0,704**	-0,851**	-0,486	0,206	-0,039
MS_botón	-0,048	-0,067	-0,107	-0,674	-0,912**
MS Total	-0,696**	-0,904**	-0,478	0,19	-0,003
Área foliar	-0,556*	-0,956	-0,308	0,08	0,103
TRC	0,709**	0,845**	0,357	-0,104	0,005
TAN	0,635**	0,792**	0,477	-0,121	0,173
TCC	-0,032	-0,463	0,047	0,028	0,431

*= Correlación significativa (P<0,05)

**= Correlación altamente significativa (P<0,01)

Masa seca foliar

En la Tabla 3-9 se muestra que existe correlación altamente significativa entre la MSF y la concentración en la planta de los elementos fósforo (positiva) y sodio (negativa); igualmente con el microelemento cobre existe una correlación negativa.

Los nutrientes asociados con el metabolismo se encuentran en mayor concentración en los estados iniciales de la formación de una hoja u otro órgano. Enseguida se presenta una disminución en el contenido, debido a efectos de dilución de la concentración por

incrementos en el material de la pared celular durante la expansión de la hoja y por reabsorción de nutrientes durante la senescencia. En contraste, el calcio, altamente asociado con paredes celulares no se reabsorbe, en vez de esto se incrementa a través del desarrollo de la hoja.

Dependiendo de la distribución relativa a todos los tejidos se pueden presentar diferencias en la concentración de nutrientes en la planta, de tal manera que las hojas tienen más altas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio y menores concentraciones de calcio que los tallos leñosos (Lambers *et al.*, 1998). Una disminución en la masa seca foliar puede atribuirse a un bajo suministro de nutrientes, que se asocia con una reducción en la síntesis y exportación de citoquininas, además de una disminución en la síntesis de proteínas, división celular y extensibilidad de las paredes celulares de las células de la hoja en expansión (Marschner, 1995)

Masa seca del tallo

En la Tabla 3-9 se muestra que existe correlación negativa altamente significativa entre la MSt y la concentración en la planta de los elementos calcio, cobre y hierro; la MSt se favoreció por las concentraciones de fósforo y azufre, y se correlacionó negativamente con los elementos nitrógeno, potasio y sodio.

El contenido de fósforo en las plantas presentó concentraciones ligeramente altas durante el ciclo del cultivo, lo cual puede ser atribuido al suministro constante mediante la fertilización líquida que permitió ser absorbido más fácilmente por las raíces sin presentarse fijación particularmente en el suelo. Cuando se presentan exceso éste estimula el desarrollo radicular en relación con la parte aérea, lo que determina una baja proporción parte aérea raíz (Salisbury y Ross, 1992)

Los contenidos de nitrógeno y potasio cambian con las etapas de crecimiento y desarrollo de la planta. Se encuentran mayores concentraciones en los estadios iniciales (semana 11), lo cual puede ser atribuido a una mayor absorción de los elementos para sostener los procesos de crecimiento y desarrollo por efecto de la demanda de la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Posteriormente se presenta una disminución como resultado del proceso de crecimiento durante las etapas de diferenciación e inducción floral y llenado de botón (Jones, 1998)

Masa seca del botón

En la Tabla 3-9 se muestra que existe correlación negativa altamente significativa entre la MSB y la concentración en la planta con el elemento boro; la MSB se favoreció por las concentraciones de fósforo y magnesio.

Para todos los nutrientes se observa una disminución de su concentración en los tejidos de la planta con el aumento en la producción de materia seca con la edad. La única excepción bien establecida es para el calcio el cual se acumula en las hojas debido a su poca movilidad. El incremento leve que se observa en el magnesio responde a la acumulación de éste en los botones florales antes de que se produzca la degradación de la clorofila como consecuencia de la maduración

Masa seca Total

En la Tabla 3-9 se muestra que existe correlación negativa altamente significativa entre la MST y la concentración en la planta de los elementos sodio, cobre y hierro; se encontró una correlación positiva con los elementos fósforo y azufre y una correlación negativa con calcio.

Para todos los nutrientes se observa una disminución de su concentración en los tejidos de la planta con el aumento en la producción de materia seca con la edad. La única excepción bien establecida es para el calcio el cual se acumula en las hojas debido a su poca movilidad. El incremento leve que se observa en el magnesio responde a la acumulación de éste en los botones florales antes de que se produzca la degradación de la clorofila como consecuencia de la maduración.

Área foliar

En la Tabla 3-9 se muestra que el parámetro AF correlacionó positivamente con las concentraciones de fósforo en las plantas de clavel, pero correlacionó negativamente con la concentración del microelemento cobre.

La tasa de expansión foliar disminuye por bajo suministro de nitrógeno, las hojas son más pequeñas con las plantas que tienen óptimo suministro de éste, debido a un efecto del tamaño del meristemo y del número de células (Grelet *et al.*, 2001). Cuando la reducción en el suministro de nutrientes disminuye el crecimiento de la hoja, se acumulan los productos de la fotosíntesis, lo cual probablemente afecta el mecanismo sensor de

azúcares inactivando los genes que modifican enzimas fotosintéticas conduciendo a la reducción de la tasa fotosintética (Pieters *et al.*, 2001).

Tasa Relativa de Crecimiento

Esta variable de crecimiento correlacionó positivamente con alta significancia con las concentraciones de los elementos calcio, sodio, cobre y hierro encontradas en las plantas de clavel; bajas concentraciones de fósforo en las plantas estudiadas favorecen la TRC.

Tasa de Asimilación Neta y Tasa de Crecimiento del Cultivo

La TAN correlacionó positivamente en mayor significancia con las concentraciones de cobre y hierro, y significativamente con nitrógeno y azufre; bajas concentraciones de fósforo favorecen la TAN. La TCC correlacionó positivamente con las concentraciones de los elementos nitrógeno y potasio, pero negativamente con los niveles de sodio.

Una disminución en la TCC puede ser explicada por la reducción en la relación de área foliar (RAF), el área foliar específica (AFE) y la relación de peso foliar (RPF). Los cambios son mayores en especies de rápido crecimiento; las bases anatómicas de la reducción de AFE así como de los cambios en la composición química se relacionan con la disminución de nitrógeno y su efecto en los incrementos en la proporción de tejido foliar que es ocupado por las células del esclerénquima (0,5 – 6%) y aumento del área ocupada por tejido venoso (4,5 – 9%). Está bien documentado que las plantas distribuyen relativamente menos biomasa a las hojas y más las raíces en condiciones de bajo suministro de nitrógeno y fósforo (Lambers *et al.*, 1998; Havlin *et al.*, 1999).

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El IAF y la TAN de las plantas de clavel cv. Delphi establecidas en los diferentes sustratos mostraron un comportamiento similar al reportado para esta especie y otras especies vegetales. Así con el incremento del IAF, el grado de sombreado mutuo se intensificó y comenzó a decrecer la TAN, conduciendo a la comunidad de plantas a una ganancia de masa seca cada vez menor.

El material vegetal de clavel establecido en los diferentes tratamientos del estudio no presentó diferencias significativas en la masa seca total. Se observó que las plantas establecidas en suelo presentaron mayor acumulación de masa seca foliar, indicando una acumulación de fotoasimilados más tardía producto quizá del retraso en el desarrollo foliar. La masa seca del tallo y botón presentaron una mayor acumulación en las plantas sembradas en los sustratos respecto al suelo.

A partir de la semana 21 “pico de desbotone” (día 114 ddp), la acumulación de masa seca de las plantas en todos los tratamientos disminuyó marcadamente, debido al proceso característico del llenado del botón floral. El valor de la TRC de las plantas sembradas en el suelo y en 100CAQ indicó mayor acumulación de masa seca, en comparación con las plantas establecidas en las mezclas.

A partir del pico de desbotone y hasta el punto de corte la TAN disminuye en todos los tratamientos pese a los incrementos en el área foliar, ya que debe redireccionar los fotoasimilados para el llenado del botón floral. Las plantas sembradas en suelo y 100CAQ presentaron el mayor valor en la TAN hasta la semana 17 del cultivo (84 ddp),

indicando que en estos sustratos las hojas presentaron hojas con masa y grosores mayores, con relación a las sembradas en las mezclas con fibra de coco.

El valor de la TCC de las plantas cultivadas en suelo y en 100CAQ fue menor entre las semanas 5 y 11 del cultivo (4 y 44 ddp), en comparación con la tasa de las plantas establecidas en las mezclas. Este comportamiento obedece a que las plantas establecidas en las mezclas presentaron mayor IAF y menor TAN. La TCC de las plantas establecidas en los diferentes tratamientos disminuyó desde la semana 17 (84 ddp) hasta la semana 32, producto que la TCC dependió en mayor cuantía de la TAN que del IAF.

Las variaciones sin tendencia definida de la TAN están aparentemente relacionadas con las condiciones de luz (días nublados y despejados) lo cual influye en los procesos de asimilación de la planta a través del IAF. Los valores elevados de la TAN registrados en las primeras semanas de crecimiento del cultivo corresponden seguramente a una época de alta radiación además de la condición favorable de la planta al tener un menor número de hojas que disminuyen el auto sombreado.

La mayor concentración de los macronutrientes N, P y K se presentó en las plantas de clavel provenientes del tratamiento 65CAQ, observándose una mayor concentración en la semana 11 después de la siembra, es decir, en la etapa fenológica denominada “transición de vegetativo a floral”. Según los rangos preestablecidos, los contenidos de N en el tejido fueron bajos.

La variación del contenido de nutrimentos en la planta en relación con el aumento en masa seca con la edad es muy marcada para todos los elementos estudiados, esto significa que en la realización de análisis químicos con fines de diagnóstico debe considerarse la fenología o edad de la planta.

Los contenidos de P, Mg, Fe y Zn en las plantas presentaron valores excesivos en todos los sustratos y etapas fenológicas. Valores normales en su concentración se presentaron para los elementos Ca, Cu, Mn y B, mientras el K mostró valores de concentración normales hasta la semana 22 y posteriormente el contenido fue deficiente.

Los elementos Mg, Cu, Mn y S se obtuvieron en concentraciones más bajas en las plantas establecidas en suelo, mientras el mayor contenido lo registraron las plantas sembradas en el sustrato 100CAQ, cuyas plantas a su vez mostraron menores contenidos de los elementos Ca y Fe, estos últimos registraron mayor concentración en las plantas establecidas en suelo.

El zinc presentó un mayor contenido para las plantas provenientes de los tres sustratos en la etapa de “transición de vegetativo a floral” (semana 11 – 15) contrario a lo observado en las plantas sembradas en suelo, mientras que el contenido de boro fue mayor en la semana 15 y menor en la semana 22 (pico de desbotone).

Prácticas agronómicas de control fitosanitario para el manejo de agentes patógenos a través del uso de fungicidas, podrían alterar la concentración de los elementos cobre y zinc, dada la composición de estos agroquímicos con los mencionados elementos.

4.2 Recomendaciones

No es conveniente aplicar programas generales o comerciales de fertirrigación, puesto que cada productor tiene diferentes condiciones de cultivo: suelos, sustratos, clima, calidad de agua de riego, entre otros; factores que influyen notablemente en las necesidades de nutrición de la planta y cuya extrapolación a diferentes condiciones de cultivo podrían conducir a errores importantes y gastos innecesarios.

Se recomienda para estudios posteriores caracterizar químicamente los sustratos en el tiempo, con el objeto de realizar un diagnóstico más integral de la evaluación del crecimiento de las plantas y la concentración de nutrientes en estos medios de cultivo.

Es aconsejable caracterizar lotes de cascarilla de arroz antes de utilizarlos, debido a que su origen y grado de tostado parecen estar relacionados con altos contenidos de manganeso, excesos que inducirían a la aparición de coloraciones anaranjadas, marrones o amarillas en plantas de clavel

Una mejora tecnológica importante es determinar apropiadamente las características hidrofísicas de los sustratos, pues el deficiente conocimiento de las características físicas

de éstos contribuye a que se estén llevando a cabo procesos de aplicación de agua de riego por parte de los floricultores en los que prima el empirismo.

Se sugiere tener en cuenta no sólo la presencia de bicarbonatos y el valor de pH en el análisis químico del agua de riego, resulta conveniente estimar los aportes de nutrientes que hace el agua de riego, ya que estos pueden llegar a ser significativos. La disolución que nutrirá el cultivo estará formada por los iones presentes en el agua de riego, más los nutrientes que se aportarán al cultivo con los fertilizantes.

Independiente del sistema de producción (suelo o sustrato) se recomienda un monitoreo frecuente de la planta y del medio de crecimiento o sustrato para mantener un abastecimiento de nutrientes equilibrado y adecuado, que soporte el crecimiento, producción y calidad del cultivo.

Bibliografía

- Abad, M., Noguera, P., Noguera, V., Roig, A., Cegarra, J. y Paredes, C. 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. Actas de Horticultura, 19. I Congreso Ibérico y III Nacional de Fertirrigación. SECH.
- Abad, M. y Noguera, P. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación, En: Cadahia, C. (Ed.). Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, Pp.290-339.
- Abad, M., Noguera, P. y Carrion C. P. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación, En: Cadahia, L. C. (Ed.). Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, 3 ed. Madrid. Ediciones Mundi Prensa. Pp.299-354.
- Adams, P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D. and Passam H (eds.) Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Athens: Embryo Publications, Pp.211-261.
- Alarcón V., A.L. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Pp.190-260.
- Ansorena M, J. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización, Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 172p.
- Arias, M.D. 2003. Utilización agrícola de los derivados del mesocarpio del coco. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Asocolflores. 2006. Cifras desarrollo social Asocolflores 2004-2006. En: www.cecodes.org.co/descargas/casos_sostenibilidad/casosind/asocolflores.pdf. Visitado noviembre 2010.
- Asocolflores. 2007. Cifras 2004-2005. Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, disponible en: http://www.asocolflores.org/info/info_cifras_2004-2005.php. Visitado noviembre 2010.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Edicions Universitat, Barcelona, 522p.
- Baracaldo, A. del P., Ibagué O., A., Flórez R., V.J. 2010. Tasas e índices de crecimiento a segundo pico de cosecha en clavel estándar cv. Nelson cultivado en suelo y en sustratos. Agronomía Colombiana, 28(2):209-217.

- Barker, A. and Pilbeam, D. 2007. Hand book of plant nutrition. Taylor & Francis Group LLC. London. 605p.
- Bellé, S. y Kampf, N. 1994. Utilização de casca de arroz carbonizada como condicionador hortícola para um solo orgânico. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 29:1265-1271.
- Boodey, J.W. 1969. Fertilization. In: J.W Mastalerz and R.W Langhans (eds). Carnations. N.Y. State Flower Growers Assoc. Pp.78-92.
- Boote, K., Kropff, M., Bindabran, P. 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: Implications for genetic improvement. Agric. Syst. 70:395-420.
- Bost, E.J., Keijzer, R., Van Schie, W., Verhagen, J., Zevenhoven, M., 2002. Potgronden en substraten, Stichting RHP Naaldwijk, The Netherlands, 90p.
- Brown, R.H. 1984. Growth of the green plant. In: Physiological basis of crop growth and development. American Society of Agronomy. Madison. 677:153-174.
- Bunt, A.C., 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Heyman London.
- Bures, S. 1997. Sustratos. Madrid: Ediciones Agrotecnicas S.L.342p.
- Cadahía, L. 2005. Fertirrigación. Aspectos básicos. En: Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, 3ª. ed. Madrid: mundi-Prensa. Pp.76-89.
- Calderón, F. 2002. La cascarilla de arroz "caolinizada"; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos. www.drcalderonlabs.com. Consulta abril de 2010
- Calderón, F. y Cevallos, F. 2001. El cultivo hidropónico de flores en Colombia. En: www.drcalderonlabs.com. Bogotá. Consulta abril de 2010.
- Cárdenas M., C. A., Rivera G., I.F., Flórez R., V.J., Piedrahita C., W. y Chaves C., B. 2006. Análisis de crecimiento en clavel estándar variedad 'Nelson' cultivado en sustratos. En: Flórez R., V.J., Fernández M., A. de la C., Miranda L., D., Chaves C., B. y Guzmán P., J.M. (eds). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Unibiblos: Bogotá. Pp.111-128.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., Salazar, M.R., Chaves, B. 2008. Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica* sp.) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido *Delus* cultivado en la Sabana de Bogotá. Bogotá DC. Agronomía Colombiana 26(1), 23-31.
- Carrillo, I. F.; Mejía, B.; Franco, H. F. 1994. Manual de laboratorio para análisis foliares. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, 52p.
- Chartzoulakis, K and Klapaki, G. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Scientia Horticulturae. 86(3), 247- 260.
- CIAT, 1988. Conceptos básicos de la fisiología del frijol. Contenido científico: Jeffrey White; producción Clemencia Gómez y Carlos Valencia. Cali. Pp.5-49.

- Dennett, M.D. and Ishag, K.H.M. 1998. Use of the exponential growth model to analyze the growth of faba bean, peas and lentils at three densities: predictive use of the model. *Annals of Botany*, 82:507-512.
- Ehret, D.L., James, G. and Menzies, H.T. 2005. Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae*, 106:103-113.
- Epstein, E. and Bloom, A. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2nd edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, 400p.
- Evans, R., Cabrera, R., Dodgeand, L., Zheng, J. 2005. The Involvement of calcium and boron in rose petal blackening. Book of Abstracts of 4th International Symposium on Rose Research and Cultivation. Santa Barbara. Pp.44-45.
- Fernández M., A. de la C., Flórez R., V.J. Chaves C., B. Niveles foliares de nutrientes en clavel variedad 'Nelson' y su relación con la producción. En: Flórez R., V.J., Fernández M., A. de la C., Miranda L., D., Chaves C., B. y Guzmán P., J.M. (eds). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Unibiblos: Bogotá. Pp.236-247.
- Fonteno, D.C. 1999. Sustratos: tipos y propiedades fisicoquímicas. En: Reed Ball Publishing. Agua, sustratos y nutrición, Hortitecnia. Bogotá. Pp. 93-123.
- Galán, M. 2004. Proceso de acondicionamiento del sustrato agrícola. Trabajo para optar el título de ingeniero agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- García, M. 1997. Eficacia del uso de la fertirrigación recirculante en cultivos hortícolas sin suelo bajo condiciones de clima semiárido. Tesis Doctoral. Univ. Almería. España. 147p.
- Gizas, G., Savvas, D., Mitsions, I. 2001. Availability of macro cations in perlite and pumice as influenced by the application of nutrient solutions having different cation concentration ratios. *Acta Horticulturae*, 548:277-284.
- Grime, J.P. y Hunt, R. 1975. Relative growth – rate: it's a range and adaptive significance in a local flora. *Journal Ecology*, 63(2):393-422.
- Grime, J.P. and Mackey, J.M. 2002. The role of plasticity in resource capture by plants. *Evolution Ecology*, 16:299-307.
- Gruszynski, A., Anghinoni, I., Meurer, E.J. e Kampf, N. 2004. Misturas de casca de tungue e casca de arroz carbonizada no enraizamento de *Dendranthema morifolium* Tzevelev 'Golden Polaris' sob método de transpiração. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*. 9(1):63-70.
- Guerrini, I. e Trigueiro, R. 2004. Atributos físicos e químicos de sustratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:1069-1076.
- Hanan, J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture, Boca Ratón: CRC Press. 684p.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. and Nelson, W. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Six edition. Prentice Hall, Inc. 499p.
- Holley, W.D. and Baker, R. 1991. Growth and development. In: Carnation production II. Colorado State University. Kendall Publishing company. Pp.77-83.

- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Published by Academic Division of Unwin Hyman Ltda. London. 110p.
- Jokova M., Kostov, O. and Van Cleemput, O. 1997. Cation exchange and reducing capacities as criteria for compost quality. Biol. Agric. Hort., 14:187-197.
- Jones, J. 1998. Plant nutrition manual. CRP Press LLC. 149p.
- Karabal, E., Yücel, M. and Avni, H. 2003. Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. Plant Science. 164(6):925-933.
- Kipp, J.A., Wever, G. and De Kreij, C., 2000. International substrate manual. Elsevier International Business Information Doetinchem, The Netherlands, 94p.
- Lamaire, F. 1998. Consequences of organic matter biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. Acta Horticulturae. 469:129-138.
- Lambers, H., Chapin, F. and Pons T. 1998. Plant physiological ecology. Springer-Verlag. New York. Pp.540.
- López Cuadrado, C., Ruiz Fernández, J., Masuguer, A. and Moliner, A., 2008. Utilization of different organic wastes from Madrid as growth media for *Pelargonium zonale*. Acta Horticulturae. 2008:623-629.
- Lucena, J. 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants a critical review. Acta Horticulturae (ISHS) 448:179-192.
- Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E. and Goudriaan, J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. Scientia Horticulturae 74:83-111.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press Ltda. London. 889p.
- Matoh, T. 2001. Boron in plant nutrition and cell wall development. In: Ae, N., Arihara, J., Okada, K., Srinivasan, A. (Eds). Plant nutrient acquisition. New perspectives. Springer Verlag ed. Tokyo . Pp.227-250.
- Mengel, K. and Kirby, E. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th edition. Kluwer Academic Publishers . Norwell. 849p.
- Miranda, L., D. 1995. Análisis integrado del crecimiento y desarrollo en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L, cv. ICA *Cerinza*) en condiciones de campo. Tesis maestría en ciencias agrarias. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. 146p.
- Navarro B., S. y Navarro G., G., 2003. Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 487p.
- Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. 4th ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall. Batavia Illinois. 95p.
- Noguera, P., Noguera, V., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A. 1999. Variación de la presentación de las propiedades físicas y químicas de residuos de fibra de coco comercializados como sustratos o componentes de sustratos de cultivo en el estado

- español. Actas de Horticultura, 26. VIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Murcia.
- Noguera, M., P. 2002. Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Universidad Politécnica de Valencia- España. En: www.cibernetia.com Bogotá. Consulta octubre de 2010.
- Ortega R., D. 1997. Fertirrigación en cultivos de flores. En: Silva M., F. (ed.) *Fertirrigación*, Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Pp.136-147.
- Pardo, A., De-Juan, J.A. and Pardo, J.E. 2003. Characterization of different substrates for possible use as casing in mushroom cultivation. *Food, Agriculture & Environment*, 1(1):107-114.
- Parker, D. 1999. Advances in solution culture methods for plant mineral nutrient research. *Adv. Agron*, 65:151-313.
- Partridge, P.L., Reid, M.S. and Kohl, H.C. 1983. A productivity and partitioning approach to carnation production. *Acta Horticulturae*, 141:173-180.
- Penningsfeld, F. and Forchthammer, L 1961. Response of the most important vegetables on a varied nutrient ratio in fertilizer application. *Die Gartenbanwiss*, 8:347-372.
- Peterson, J.C. 1982. Effects of pH upon nutrient availability in a commercial soilless root medium utilized for floral crop production. *Ohio Agric. Res. Dev. Centre, Research Circular*. 268:16-19.
- Pizano de Márquez, M. 2000. Clavel (*Dianthus caryophyllus* L.). Bogotá: Ed. Hortitecnia Ltda. 181p.
- Puustjarvi, V. 1977. Peat and its use in horticulture. 3rd. ed. Helsinki: [Liikekirjapaino](http://www.liikekirjapaino.fi) Oy. 160p.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Sci.*, 7:171-175.
- Ramírez S., C. 2003. Análisis de la fisiología de la nutrición mineral en plantas de clavel miniatura cv. *Rony* en condiciones de producción a nivel comercial. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. 327p.
- Raviv, M., Silber, A., Medina, S. and Reuveni, R. 1998. Assessment of various control strategies for recirculation of greenhouses effluents under semi-arid conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73: 485- 491.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A. and Bar Tal, A. 2002. Substrate and their analysis. In: Savvas D. and Passam H. (ed.). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publications, Athens, 25-101.
- Salisbury, F. and Ross, C.W. 1992. *Plant physiology*. 4th edition. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, 682p.
- Silber, A., Bar-Yoseft, B., Singer, A. and Chen, Y. 1994. Mineralogical and chemical composition of tree tufts from northern Israel. *Geoderma*, 63:123-144.
- Sonneveld, C. and Voogt, W. 2009. *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer Dordrecht Heidelberg, New York, 419p.

- Taiz, L. and Zeiger, E. 1998. Plant physiology. 2nd edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, 792p.
- Terés T., V. 2001. Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización, Tesis doctoral, Universidad politécnica. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco Duque de Wellington. 531p.
- Van Lersel, M., Beverly, R., Thomas, P., Latiemr, J. and Mills, H. 1998. Nutrition affects pre and pos transplant growth of Impatiens and Petunia, plugs. Hort Science, 33(6): 1014-1018.
- Verhoeven, K.J.F., Biere, E., Nevo, A. y Van Damme, J.M.M. 2004. Differential selection of growth rate-relates traits in wild barley, *Horedeum spontaneum*, incontrating greenhouse nutrient environments. J. Evo. Biol. 17:164-195.
- Villar, R., Ruiz Robleto, J.L., Poorter, H., Valladares, F. y Maranon, T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. Red Temática Globimet, Madrid. Pp.193-226.
- White. J.W. 1987. Fertilization. In: Langhans, R.W. (ed.). Roses and carnations. Pp.87-135.
- Winsor, G.W. 1996. Potassium and quality of glasshouse crops. In: Potassium and the quality of agriculture products. 8th edition. Congn Int. Potash Inst. Bern. Pp.303-312.
- Winsor, G. and Adams, P. 1987. Diagnosis of mineral disorders in plants, Vol. 3: Glasshouse crops. Robinson, J.B.D. (ed.) London: Her Majesty's Stationery Office. Pp.168.