



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Respuesta fisiológica y de producción del tabaco tipo Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila**

**Verónica Hoyos Castaño**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Agronomía, Escuela de posgrados  
Bogotá D.C., Colombia

2013



# **Respuesta fisiológica y de producción del tabaco tipo Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila**

**Verónica Hoyos Castaño**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias Agrarias**

Director:

Ph.D., Guido Armando Plaza Trujillo

Codirector:

Ph.D., Stanislav Magnitskiy

Línea de Investigación:

Fisiología de Cultivos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Agronomía, Escuela de posgrados

Bogotá D.C., Colombia

2013



## DEDICATORIA

*A mis padres por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, sin ellos no sería posible este triunfo. Por esto y mucho más este logro es para Ustedes.*

*A mi hermana y sobrino por su amor, alegrías y apoyo en todo momento.*

*A mi novio, por ser más que un amigo, un cómplice, un compañero, un apoyo. Por ser lo más importante en mi vida. Gracias por hacer realidad mis sueños!*



## Agradecimientos

Este trabajo hace parte del proyecto “Evaluación técnica y económica de alternativas para la fertilización de tabaco (*Nicotiana tabacum*) tipo Virginia en los departamentos de Santander y Huila” financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Al Profesor Guido Plaza, director de tesis, por contribuir en mi formación académica, profesional y personal. Por la colaboración y orientación durante el desarrollo de la maestría y la realización de este trabajo.

Al Profesor Stanislav Magnitskiy, codirector de tesis, por sus aportes y sugerencias en la realización de este trabajo.

A mi familia por su apoyo en todo momento. A mi papá, por su compañía y trabajo desinteresado, por hacer que los viajes y el campo sean divertidos.

A mi compañera Marcela Rodríguez, por su colaboración, compañía y contribución en la realización de este trabajo, y sobre todo por su amistad.

A Rafel Cruz por todo su trabajo, apoyo y enseñanzas en campo y laboratorio.

Al Doctor Jesús Rojas, por compartir su conocimiento y experiencia para la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Fitzgerald García y todo el personal de Protabaco S.A.S. Agencias Neiva y Garzón por su apoyo técnico y logístico.

A mis amigos de maestría Enrique, Julián y Marcela por los gratos momentos que pasamos juntos, las risas, tragedias y estudio. Gracias por su amistad.

A Elci y Roberto, por su hospitalidad y familiaridad en todo momento, por su compañía y apoyo.





## Resumen

El objetivo fue estudiar la respuesta fisiológica y el rendimiento y calidad del tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en los municipios de Campoalegre y Garzón, con el propósito de generar criterios para un programa de fertilización adecuado que garantice mayor productividad y calidad. Se evaluaron siete tratamientos correspondientes a seis alternativas de fertilización (tres dosis y dos fuentes fertilizantes) y un testigo comercial. Se midieron parámetros fisiológicos como indicadores indirectos del estado nutricional de la planta y contenidos de nutrientes minerales en diferentes etapas del desarrollo cultivo. El rendimiento y calidad de la hoja curada se evaluaron después del proceso de curado y se realizó una evaluación técnica de los tratamientos. Los parámetros fisiológicos son afectados principalmente en etapas iniciales del cultivo. La dosis influyó en la clorofila fluorescente, conductancia estomática, transpiración, clorofila total, a y b, y la fuente de fertilización en fotosíntesis neta, clorofila fluorescente, conductancia estomática y transpiración. Nitrógeno, calcio, magnesio y cloro aumentaron los contenidos foliares a través del tiempo durante crecimiento vegetativo hasta floración. Durante la cosecha potasio, magnesio y calcio disminuyen en el tiempo. Los elementos que presentan mayor acumulación foliar fueron N, K y Ca. La aplicación de dosis y fuentes fertilizantes tienen efecto principalmente en calidad, el rendimiento no presentó diferencias significativas. Para Campoalegre, los mayores rendimientos se obtuvieron con la no utilización de SAM a las tres dosis. En Garzón, los mayores rendimientos se obtuvieron con la dosis al 100% con y sin aplicación de SAM y el testigo comercial.

**Palabras claves:** *Nicotiana tabacum*, nutrición, fotosíntesis, transpiración, concentración de nutrientes, rendimiento, calidad.

## Abstract

The objective was to study the physiological answer and the yield and quality of the Flue Cured tobacco under different programs of fertilization in the counties of Campoalegre

and Garzon, in order to generate a criterion for an adequate fertilization program to guaranty a higher productivity and quality. Seven treatments were evaluated corresponding to six alternatives of fertilization (three rates and two fertilizer sources) and a commercial control. The physiological parameters were measured to indicate indirectly the nutritional state of the plant and its contents of mineral nutrients at different stages of the crop development. The yield and quality of the tobacco cured leaves was evaluated after a curing process and a technical evaluation of the treatments were done. The physiological parameters are affected mainly at the initial stages of the crop. The rates affected chlorophyll fluorescence, stomatal conductance, transpiration, total chlorophyll, a and b, and the fertilizer sources affected photosynthesis, chlorophyll fluorescence, stomatal conductance and transpiration. Nitrogen, calcium, magnesium and chlorine increased the leaf contents through time during the vegetative growing until flowering. During the harvesting, the potassium, magnesium and calcium decreased through time. The elements which showed a higher leaf accumulation were N, K and Ca. The application of the rates and fertilizer sources affected mainly in quality, and the yield did not show significant differences. In Campoalegre, the greatest yields were obtained with the no utilization of SAM for the three rates of application. In Garzon, the greatest yields were obtained with the rates to 100% with and without the application of SAM and the commercial control.

**Keywords:** *Nicotiana tabacum*, nutrition, photosynthesis, transpiration, nutrients concentration, yield, quality.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Respuesta fisiológica del tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila.....</b>	<b>7</b>
1.1 Resumen .....	7
1.2 Introducción .....	8
1.3 Materiales y métodos.....	10
1.3.1 Ubicación .....	10
1.3.2 Diseño experimental y tratamiento .....	11
1.3.3 Parámetros fisiológicos .....	14
1.3.4 Análisis estadístico.....	15
1.4 Resultados.....	15
1.4.1 Fotosíntesis.....	15
1.4.2 Máxima eficiencia del fotosistema II .....	17
1.4.3 Conductancia estomática .....	18
1.4.4 Transpiración .....	19
1.4.5 Contenido de clorofila.....	20
1.5 Discusión .....	22
<b>2. Determinación del contenido de nutrientes de tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila .....</b>	<b>29</b>
2.1 Resumen .....	29
2.2 Introducción .....	29
2.3 Materiales y métodos.....	34
2.3.1 Ubicación .....	34
2.3.2 Diseño experimental y tratamientos .....	34
2.3.3 Contenido de nutrientes .....	37
2.3.4 Análisis estadístico.....	38
2.4 Resultados.....	38
2.4.1 Desarrollo vegetativo hasta floración.....	38
2.4.2 Cosecha.....	42
2.5 Discusión .....	43

<b>3. Rendimiento y calidad de la hoja curada de tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila.....</b>	<b>51</b>
3.1 Resumen.....	51
3.2 Introducción.....	52
3.3 Materiales y métodos .....	55
3.3.1 Ubicación.....	55
3.3.2 Diseño experimental y tratamientos .....	57
3.3.3 Rendimiento y calidad.....	59
3.3.4 Análisis estadístico .....	59
3.4 Resultados .....	61
3.4.1 Rendimiento .....	61
3.4.2 Parámetros físicos .....	63
3.4.3 Parámetros químicos .....	65
3.5 Discusión.....	67
3.5.1 Rendimiento .....	67
3.5.2 Parámetros físicos .....	71
3.5.3 Parámetros químicos .....	73
3.5.4 Nicotina.....	74
3.5.5 Azúcares.....	76
<b>4. Evaluación técnica de programas de fertilización en el cultivo de tabaco Virginia, en los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila.....</b>	<b>79</b>
4.1 Resumen.....	79
4.2 Introducción.....	79
4.3 Materiales y Métodos .....	82
4.3.1 Ubicación.....	82
4.3.2 Diseño de experimentos .....	84
4.3.3 Rendimiento y calidad.....	86
4.3.4 Costo de la fertilización.....	87
4.3.5 Ingreso bruto e ingreso neto .....	88
4.3.6 Análisis técnico y económico .....	88
4.3.7 Análisis estadístico .....	89
4.4 Resultados y discusión.....	89
4.4.1 Rendimiento .....	89
4.4.2 Calidad de compra.....	90
4.4.3 Costo de la fertilización.....	91
4.4.4 Análisis técnico y económico .....	92
<b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>97</b>
5.1 Conclusiones.....	97
<b>Bibliografía .....</b>	<b>102</b>



# Lista de figuras

Pág.

**Figura 1-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). Campoalegre y Garzón..... 11

**Figura 1-2:** Tasa de fotosíntesis neta P<sub>n</sub> (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) en hojas de tabaco Virginia en etapa de crecimiento lento. a. Interacción municipio-hora. b. Interacción municipio-fuente fertilizante (a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM, tes: testigo). 15

**Figura 1-3:** Tasa de fotosíntesis neta P<sub>n</sub> (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) en hojas de tabaco Virginia en etapa de crecimiento rápido. Interacción municipio-dosis..... 16

**Figura 1-4:** Tasa de fotosíntesis neta P<sub>n</sub> (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) en hojas de tabaco Virginia en diferentes horas del día. a. Etapa de crecimiento rápido (44 ddt). b. Etapa de floración (74 ddt) ..... 16

**Figura 1-5:** Contenido de clorofilas en la hoja de tabaco en los municipios de Campoalegre (a, c y e) y Garzón (b, d y f). a y b. Contenido de clorofila total (Chl total). c y d. Contenido de clorofila b (Chl b). e y f. Contenido de clorofila a (Chl a.). a50: ; a100: ; a150: ; b50: ; b100: ; b150: ; Testigo: ..... 21

**Figura 1-6:** Relación de contenido de clorofilas a/b en la hoja de tabaco en los municipios de Campoalegre (a) y Garzón (b). a50: ; a100: ; a150: ; b50: ; b100: ; b150: ; Testigo: ..... 21

**Figura 2-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). Campoalegre y Garzón..... 35

**Figura 2-2:** Contenido (g planta<sup>-1</sup>) y concentración (%) de nitrógeno, calcio, magnesio y cloro en hojas de tabaco durante desarrollo vegetativo hasta floración. a. Nitrógeno. b. Calcio. c. Magnesio. d. Cloro. Contenido: Campoalegre: ; Garzón: ; concentración: Campoalegre: ; Garzón: ..... 39

**Figura 2-3:** Contenido (g planta<sup>-1</sup>) de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en hoja de tabaco durante desarrollo vegetativo hasta floración, en los municipios de Campoalegre y Garzón. A. Nitrógeno. B. Fósforo. C. Calcio. D. Magnesio. 50%: ; 100%: ; 150%: ; Testigo: ..... 40

**Figura 2-4:** Contenido de potasio en la hoja de tabaco durante desarrollo vegetativo hasta floración, en los municipios de Campoalegre (a) y Garzón (b)..... 41

**Figura 2-5:** Acumulación (g planta<sup>-1</sup>) de elementos en el cultivo de tabaco Virginia durante desarrollo vegetativo hasta floración, en los municipios de Campoalegre (A) y Garzón (B). N: ; P: ; K: ; Ca: ; Mg: ; S: ; Cl: ..... 41

**Figura 2-6:** Contenido (g planta<sup>-1</sup>) (a) y concentración (%) (b) de potasio, calcio y magnesio durante la cosecha en los municipios de Campoalegre y Garzón. Tercio inferior: 100 ddt; Tercio medio: 114 ddt; Tercio superior: 125 ddt. K: ; Mg: ; Ca: . 43

**Figura 2-7:** Contenido (g planta<sup>-1</sup>) y concentración (%) de nitrógeno, azufre y cloro en hojas de tabaco durante la cosecha. Tercio inferior: 100 ddt; Tercio medio: 114 ddt; Tercio superior: 125 ddt.. a. Nitrógeno. b. Azufre. c. Cloro. Contenido: Campoalegre: ; Garzón: ; concentración: Campoalegre: ; Garzón: ..... 44

**Figura 3-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). Campoalegre y Garzón..... 56

**Figura 3-2:** Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) según calidad de hojas curadas de tabaco en los municipios de Campoalegre y Garzón. a. Calidad primera y segunda. b. Calidad tercera. 62

**Figura 3-3:** Rendimiento (%) de calidades con respecto al rendimiento total de hojas curadas de tabaco en los municipios de Campoalegre y Garzón. a. Calidad primera y segunda. b. Calidad tercera por municipios. c. Calidad tercera por dosis..... 63

**Figura 3-4:** Contenido de nicotina (%) en hojas curadas de tabaco Virginia según el piso foliar, en los municipios de Campoalegre y Garzón ..... 66

**Figura 3-5:** Contenido de nicotina (%) en hojas curadas de tabaco Virginia para Campoalegre y Garzón, según dosis de aplicación para los pisos foliares bajas (a) y superiores (b). 66

**Figura 3-6:** Contenido de nicotina (%) en hojas curadas de tabaco Virginia según calidades. a. Diferencias entre municipios (Campoalegre , Garzón ) b. Interacción fuente-dosis (a: utilización de SAM; b: no utilización de SAM; tes: testigo; 50, 100 y 150: 50%, 100% y 150% dosis de fertilización respectivamente). ..... 67

**Figura 3-7:** Contenido de azúcar (%) en hojas curadas de tabaco Virginia según el piso foliar y calidades. a. Diferencias entre municipios para las hojas bajas, mediamata y la suma de las calidades primeras y segundas en los municipios de Campoalegre y Garzón . b. Interacción municipio-fuente-dosis (a: utilización de SAM; b: no utilización de SAM; tes: testigo; 50, 100 y 150: 50%, 100% y 150% dosis de fertilización respectivamente)..... 68

**Figura 4-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). Campoalegre y Garzón..... 83





## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón .....	12
<b>Tabla 1-2:</b> Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ). .....	13
<b>Tabla 1-3:</b> Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila .....	13
<b>Tabla 1-4:</b> Efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización evaluados sobre la máxima eficiencia del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ) en los dos municipios durante el desarrollo del cultivo de tabaco.....	17
<b>Tabla 1-5:</b> Efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización evaluados sobre la conductancia estomática ( $g_s$ ) en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en los dos municipios durante el desarrollo del cultivo de tabaco.....	18
<b>Tabla 1-6:</b> Efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización evaluados sobre la transpiración ( $E$ ) en $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en los dos municipios durante el desarrollo del cultivo de tabaco .....	19
<b>Tabla 2-1:</b> Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón .....	35
<b>Tabla 2-2:</b> Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ). .....	36
<b>Tabla 2-3:</b> Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila .....	37
<b>Tabla 2-4:</b> Concentraciones foliares (%) de los principales elementos en etapa de floración a los 76 días después de trasplante y su contenido óptimo, para el cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón. ....	42
<b>Tabla 3-1:</b> Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón .....	56
<b>Tabla 3-2:</b> Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ). .....	58
<b>Tabla 3-3:</b> Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila .....	58
<b>Tabla 3-4:</b> Criterios del clasificador o comprador para asignar los grados a las hojas curadas de tabaco Virginia .....	60
<b>Tabla 3-5:</b> Rendimiento del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón.....	61

<b>Tabla 3-6:</b> Parámetros físicos de calidad de hojas de tabaco Virginia por piso foliar en los municipios de Campoalegre y Garzón. ....	64
<b>Tabla 3-7:</b> Parámetros físicos de calidad de hojas de tabaco Virginia por calidad en los municipios de Campoalegre y Garzón. ....	65
<b>Tabla 4-1:</b> Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón. ....	84
<b>Tabla 4-2:</b> Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ). ....	85
<b>Tabla 4-3:</b> Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila. ....	86
<b>Tabla 4-4:</b> Criterios del clasificador o comprador para asignar los grados a las hojas curadas de tabaco Virginia. ....	87
<b>Tabla 4-5:</b> Valor comercial de los fertilizantes para el año 2010. ....	88
<b>Tabla 4-6:</b> Rendimiento del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón. ....	89
<b>Tabla 4-7:</b> Producción de hoja curada ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) de acuerdo a la calidad de compra en el municipio de Campoalegre, Huila. ....	90
<b>Tabla 4-8:</b> Producción de hoja curada ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) de acuerdo a la calidad de compra en el municipio de Garzón, Huila. ....	91
<b>Tabla 4-9:</b> Costo de la fertilización del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón. ....	92
<b>Tabla 4-10:</b> Resultados técnicos y económicos de las alternativas de fertilización de los ensayos en Campoalegre. ....	93
<b>Tabla 4-11:</b> Resultados técnicos y económicos de las alternativas de fertilización de los ensayos en Garzón. ....	94
<b>Tabla 4-12:</b> Relación beneficio/costo de las alternativas de fertilización para Campoalegre y Garzón, Huila. ....	94





# Introducción

El tabaco a través de su historia ha tenido diferentes usos siendo los indígenas y descubridores los primeros en mostrar interés, posteriormente adquirió importancia para indios, conquistadores, contrabandistas, comerciantes, fabricantes, entre otros. Dentro de los usos del tabaco que se encuentran esta fumar, mascar, oler, rapé; como planta ornamental, mercancía, moneda, cigarrillo, cigarro, pipa, concentrado, fuente de proteínas, símbolo religioso, mitológico y de hechicería, medicinal, insecticida, repelente, jabón, dentífrico, constituyente de perfumes, medidor de distancias, productor de aceite, ofrenda, amuleto, acondicionador del suelo, material para aglomerados, fabricación de tintas e inspiración literaria y artística (Barreneche, 1997; Castellanos *et al.*, 2009).

Igualmente genetistas, fitopaleontólogos y fisiólogos vieron en el tabaco una planta ideal para ser usada en investigaciones, debido a que es planta autógena con estructuras reproductivas que favorecen la autofecundación; de fácil cruzamiento y manipulación por el tamaño, forma y estructura de su flor; puede tener hasta tres generaciones por año; posible cruzamiento con otras especies del género; alta producción de semillas por flor en cada cruce; longevidad de la semilla, la cual puede permanecer viable por 20 años bajo adecuada temperatura (15°C); altamente polimorfa lo que permite estudiar muchos caracteres distintos en la planta (Barreneche, 1997).

El tabaco es una planta de la familia de las solanáceas, dentro de la cual existen más de 70 especies, siendo *Nicotiana tabacum* la especie más cultivada en producción comercial (aproximadamente 95% de la producción mundial). Sin embargo, en algunos países como China e India, se producen y consumen cantidades considerables de *N. rustica*, aunque este es considerado de inferior calidad (Castellanos y Montañez, 2006; Rojo, 2008).

Es una planta de crecimiento herbáceo, perenne. Como cultivo comercial se considera como planta anual o semestral. Morfológicamente, presenta sistema radical fibroso, poco profundo, densamente fasciculado, aproximadamente, el 80% de las raíces crece en los primeros 30 cm del suelo y es la que presenta mayor funcionalidad en cuanto absorción de nutrientes, aunque pueden alcanzar hasta 1,5 m de profundidad. Tiene un tallo erecto, cilíndrico, el cual forma tejido leñoso en la parte de inferior y puede alcanzar alturas entre 1 y 3 metros. Presenta pubescencia en el tallo formado de pelos glandulares (tricomas) que producen exudado aceitoso y pegajoso, al igual que las hojas. En la inserción de la hoja al tallo, se producen las yemas o brotes laterales, los cuales son indeseables en la producción comercial de tabaco y se desarrollan principalmente después de la eliminación del brote floral. Las hojas grandes, alternas, de forma lanceolada u oval, borde entero, nervadura central prominente de color blanquecino y una planta en promedio tienen de 15 a 25 hojas. Presenta tricomas que le confieren a las hojas características resinosas, por las ceras que producen. La inflorescencia es una panícula terminal, de 150 a 300 flores, las cuales son hermafroditas y pentámeras. El cáliz es tubular, acampanado y la corola es simpétala, de forma tubular. El fruto es una cápsula ovoide, de 15 a 20 mm de longitud, con un cáliz persistente, una planta puede producir en promedio 250 cápsulas, las cuales pueden tener entre 2.000 y 2.500 semillas (Chaverri, 1995; Agrocadenas, 2005 y 2006; Ballari, 2005; Castellanos y Montañez, 2006; Hurtado *et al.*, 2007; Rojo, 2008).

Las condiciones ambientales favorables para el crecimiento del cultivo son, temperatura óptima entre 18 y 32°C (Agrocadenas 2005 y 2006; Rojo, 2008), donde la temperatura nocturna debe oscilar entre 18 y 21°C y la diurna entre 29 y 32°C. En la fase de semillero se requieren temperaturas superiores a 16°C. Las bajas temperaturas restringen el crecimiento y promueven la floración temprana, afectando tamaño, desarrollo número y calidad de las hojas. Por otro lado, las altas temperaturas favorecen el desarrollo acelerado de la planta y pueden presentarse problemas en calidad por una mayor acumulación de alcaloides y azúcares en las hojas (Chaverri, 1995). Sin embargo, a mayor temperatura mayor número de hojas alcanzando un máximo de 40 hojas con temperaturas día/noche de 34/30°C (Rojo, 2008). Crece en alturas sobre el nivel del mar entre 0 y 1.500 metros, es considerada una planta sensible a la humedad, en zonas secas produce hojas poco elásticas y más ricas en nicotina que en las regiones

húmedas, es adaptable a suelos arenosos y pobres (Agrocadenas 2005 y 2006; Rojo, 2008).

El ciclo de cultivo de tabaco Virginia está dividido en cuatro estados de desarrollo: (i) semillero; (ii) recuperación del trasplante (duración aproximada 3 semanas) durante el cual hay un crecimiento lento; (iii) rápido crecimiento vegetativo hasta floración (desde 3 hasta 8 semanas); y (iv) expansión foliar y maduración (entre 8 y 16 semanas aproximadamente) durante esta etapa las hojas son cosechadas progresivamente desde la base de la planta hasta el ápice (Miner y Tucker, 1990; Rojo, 2008). En el Huila el ciclo del dura entre 155 y 210 días (22 y 30 semanas). Semillero (hasta trasplante) tiene una duración aproximada de 45 - 60 días, establecimiento y primera fase de crecimiento (desde trasplante) entre 0 - 30 días, crecimiento rápido hasta floración entre 30 - 60 días y maduración de las hojas (hasta última cosecha) entre 70- 110 días (Plaza *et al.*, 2011b).

El tabaco Virginia se caracteriza por ser curado en hornos con temperaturas entre 60 °C y 70 °C. Durante el proceso de poscosecha se pasan por tres fases definidas de curación y secado, las cuales son: amarillamiento, marchitamiento, fijación de color y secado de lámina y secado de vena; las cuales, se diferencian por los requerimientos en temperatura y humedad relativa. Las características principales de este tipo de tabaco son su sabor y aroma suaves, contenido de nicotina de 1,5 a 3,5%, contenido de azúcares entre 8 y 18% y por la combustión del humo dulce y ácido (Rojo, 2008; Plaza *et al.*, 2011b)

El tabaco es una planta de crecimiento rápido y la absorción de nutrientes tiene esta misma tendencia. Por este motivo, el tabaco requiere de manera adecuada los nutrientes disponibles durante todo el periodo vegetativo, pero, principalmente, en las primeras semanas post-trasplante. Solo con una adecuada y balanceada nutrición se pueden obtener hojas cosechadas de mayor calidad (Rojo, 2008). En Colombia la fertilización básica del tabaco se realiza principalmente de manera empírica, los programas de fertilización no tienen en cuenta aspectos como los análisis de suelos las cuales no se usan para las recomendaciones de fertilizantes. Las dosis de nutrientes se aproximan según las aplicaciones y experiencias previas, o con base teórica y práctica de investigaciones como las realizadas por la Universidad de Carolina del Norte, sin

desarrollo bajo las condiciones propias de cada región, igualmente hay poca utilización de los requerimientos nutricionales del cultivo para la recomendación de las dosis de fertilizantes, todo esto hace que los programas de fertilización sean generales y poco concretos (Plaza *et al.*, 2011a).

Castellanos *et al.*, (2009) publicaron las tendencias de investigación de los últimos 10 años en el sector tabacalero enfocadas en temas como el mejoramiento genético, cultivo y transformación, áreas prioritarias para la cadena de tabaco, mostrando un aumento en el número de publicaciones, encontrando que entre 1998 y 2004 se duplicaron y a partir de 2004 hay una producción constante de 250 publicaciones promedio en el mundo en estas mismas áreas. Dentro de la temática de cultivo, las áreas de mayor producción académica son plagas y enfermedades y control fitosanitario donde se registran 2.413 y 1.565 publicaciones respectivamente. Por otro lado, solo se registraron 391 publicaciones (84% menos con respecto a plagas y enfermedades) en el área de conocimiento de la estructura vegetal de la hoja de tabaco la cual incluye características de crecimiento, contenido de nutrientes y compuestos, modificación de parámetros bioquímicos, incidencia de insumos agrícolas e irrigación (Castellanos *et al.*, 2009). Esto muestra la poca investigación que se realiza en temas relacionados con la nutrición y fertilización del cultivo de tabaco, temática que influye directamente el rendimiento y la calidad de la hoja curada.

En la producción nacional de tabaco Virginia existe un bajo rendimiento y calidad de la hoja curada como consecuencia del bajo nivel nutricional. La principal causa es que no existe un programa de fertilización adecuado para la zona de estudio, teniendo como resultado un uso no apropiado de los insumos, heterogeneidad en la maduración y coloración, menores tamaños de hoja.

El análisis del manejo nutricional actual y de la fisiología del cultivo de tabaco Virginia genera las siguientes preguntas para este estudio: ¿El bajo rendimiento y calidad de la hoja de tabaco son consecuencia del actual manejo nutricional?, ¿Qué aspectos de la fertilización (dosis, fuentes) inciden directamente en el rendimiento y la calidad de la hoja? y ¿Es factible establecer un programa de fertilización a nivel de municipio?



Con este estudio se planteó como **objetivo general** “Estudiar la respuesta fisiológica y el rendimiento y calidad del tabaco tipo Virginia bajo diferentes planes de fertilización en los municipios de Campoalegre y Garzón (Huila)”.

Los **objetivos específicos** de esta investigación fueron:

Evaluar parámetros fisiológicos en función del estado nutricional de la planta.

Determinar el contenido de nutrientes de la hoja durante el ciclo de cultivo.

Determinar las diferencias en rendimiento y calidad de la hoja curada en función de la nutrición.

Definir un plan de fertilización para cada zona de estudio.



# 1. Respuesta fisiológica del tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila

## 1.1 Resumen

El manejo balanceado de los nutrientes en un cultivo implica varios aspectos, como la aplicación de los elementos esenciales para su crecimiento, teniendo en cuenta las condiciones edáficas que influyan en su disponibilidad, momento, fuentes y dosis adecuadas de acuerdo a las necesidades del cultivo. La falta de cualquiera de estos elementos tiene efectos tanto directos como indirectos; directos cuando el nutriente participa directamente en los procesos del metabolismo del carbono (clorofilas, enzimas, etc.) e indirectos, cuando su deficiencia afecta crecimiento y morfogénesis. El objetivo del presente trabajo fue evaluar parámetros fisiológicos como fotosíntesis ( $P_n$ ), máxima eficiencia del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), transpiración ( $E$ ) y contenido de clorofila ( $Chl$ ) en función del estado nutricional de la planta. El trabajo se realizó en dos municipios del departamento Huila, y durante el desarrollo del cultivo se realizaron tres mediciones en las diferentes etapas del cultivo. Se evaluaron siete tratamientos correspondientes a seis alternativas de fertilización (tres dosis y dos alternativas de fuentes de aplicación) y un testigo comercial. Los parámetros fisiológicos se ven afectados principalmente en etapas iniciales del cultivo. La fotosíntesis neta, conductancia estomática, transpiración y máxima eficiencia del PSII del cultivo de tabaco se vieron afectadas principalmente por el municipio de evaluación. La dosis de aplicación influyó en la  $F_v/F_m$ ,  $g_s$  y  $E$ , y la fuente de fertilización en  $P_n$ ,  $F_v/F_m$ ,  $g_s$  y  $E$ . El contenido de clorofila total, a y b presentaron mayores valores con altas dosis de fertilización.

## 1.2 Introducción

La producción agrícola dinámica y competitiva exige a los productores ser más eficientes en su producción, es decir, obtener mayor producción y calidad al menor costo posible (Rojo, 2008). Igualmente, se requiere de un manejo adecuado de la fertilización debido a las limitaciones económicas y ambientales (Gastal y Lemaire, 2002). La eficiencia en la producción depende de muchos factores, como la adecuada selección variedad a sembrar, manejo de riego, fitosanidad, etc. Igualmente, el adecuado manejo nutricional es una variable fundamental dentro de estos aspectos (Ballari, 2005; Rojo, 2008). La fertilización debe ser suficiente para proporcionar un rendimiento óptimo final y la calidad del producto deseado (Gastal y Lemaire, 2002).

El manejo balanceado de los nutrientes en un cultivo implica varios aspectos, como la aplicación de los elementos esenciales para su crecimiento, teniendo en cuenta las condiciones edáficas que influyan en su disponibilidad, momento, fuentes y dosis adecuadas de acuerdo a las necesidades del cultivo. El manejo correcto y balanceado de los nutrientes, repercute en la expresión del potencial genético de la planta, lo cual generará mayores producciones de buena calidad (Gurumurthy y Vageesh, 2007; Rojo, 2008).

La planta necesita para desarrollarse correctamente diferentes nutrientes minerales clasificados por los requerimientos cuantitativos o concentraciones en la planta. La falta de cualquiera de estos elementos tiene efectos tanto directos como indirectos; directos cuando el nutriente participa directamente en los procesos del metabolismo del carbono (clorofilas, enzimas, etc.) e indirectos, cuando su deficiencia afecta crecimiento y morfogénesis (Azcón-Bieto *et al.*, 2004).

El potasio es el "elemento de calidad" en las plantas de tabaco Virginia, mientras que N es el "elemento de rendimiento" (Cao *et al.*, 1991). El nitrógeno es el elemento que tiene un mayor efecto en el crecimiento y calidad de tabaco Virginia comparado con otros elementos esenciales (Marchetti *et al.*, 2006; Parker, 2009; Smith, 2009). El nitrógeno está directamente relacionado con el desarrollo vegetativo del tabaco y en concreto determina el rendimiento de la hoja, las cualidades de aroma y gusto, y el sabor del humo

(Smith, 2004; Lu *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Marambe y Sangakkara, 2008). El fósforo, es fundamental ante todo en las primeras etapas de desarrollo de la planta de tabaco, influyendo en el desarrollo de las raíces, crecimiento de la planta y el desarrollo y calidad de las primeras hojas. Este elemento mejora el color de la hoja del tabaco, es positivamente relacionado para el contenido de azúcar, parámetro de calidad en las hojas de tabaco (Crafts-Brandner *et al.*, 1990; Smith, 2004; Ballari, 2005). El potasio es uno de los principales minerales necesario para el crecimiento y desarrollo de tabaco. El contenido de K en la hoja de tabaco está altamente correlacionado con la calidad de la hoja de tabaco y la seguridad del cigarrillo (contenido de azúcares, nicotina y combustibilidad) (Ballari, 2005; Yang *et al.*, 2007), mejora el sabor y la combustibilidad de la hoja de tabaco, disminuye el contenido de alquitrán del humo, y dar lugar a buenas propiedades físicas de las hojas curadas, como el color, cuerpo, textura y elasticidad (Zou *et al.*, 2005).

El magnesio es el componente esencial para la producción de clorofila, por consiguiente en los procesos de fotosintéticos y juega un papel importante en el desarrollo de la planta (Pinkerton, 1972; Smith, 2004). En el tabaco, el incremento del contenido de magnesio en hoja hasta 2% mejora la combustibilidad y la apariencia (color y textura) de las cenizas, dando lugar a una ceniza porosa, suelta y de color claro que mejora la combustión (Pinkerton, 1972; Smith, 2004; Rojo, 2008). El 90% del calcio presente en la planta se encuentra en la lámina media de las paredes celulares formando enlaces entre las pectinas, las membranas y en las vacuolas (Rojo, 2008). El azufre es un componente esencial de las proteínas, hace parte de algunos aminoácidos esenciales como la cisteína y la metionina. Afecta la combustibilidad, aroma y puede disminuir el índice de alcalinidad de las cenizas (Smith, 2004; Rojo, 2008).

La fotosíntesis es el principal proceso fisiológico que dirige el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos, e incluye muchos otros procesos en las plantas (Yin y Struik, 2009). La deficiencia de N afecta la fotosíntesis de las plantas en muchos cultivos. Esto se debe a que existe una relación directa entre la capacidad fotosintética y la cantidad de N por unidad de área foliar, por lo tanto una deficiencia de este elemento limita la translocación dentro de la planta por una disminución en el crecimiento (Boussadia *et al.*, 2010). Igualmente, se aumenta la proporción de fotoasimilados destinados a elaborar sustancias de almacenamiento como azúcares y almidón,

disminuyendo la síntesis de compuestos nitrogenados (Hirai *et al.*, 2004; Scheible *et al.*, 2004; Ballari, 2005). El área foliar y la tasa de fotosíntesis foliar están directamente asociados con la producción de materia seca de la planta (González-Murua *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2005). El contenido de N foliar y las concentraciones de clorofila son parámetros fisiológicos importantes para detectar el status de N de las plantas de cultivo (Zhao *et al.*, 2005).

La deficiencia de potasio es un problema nutricional importante que afecta tanto la producción de los cultivos como la calidad (Ballari, 2005; Cakmak, 2005; Rojo, 2008). El potasio juega muchos roles bioquímicos y fisiológicos, dentro de los cuales están: fijación de CO<sub>2</sub>, transporte de fotoasimilados, activación de enzimas, regulación del contenido de clorofila y ajuste de la presión de turgor (Zhao *et al.*, 2001; Cakmak, 2005).

Teniendo en cuenta la importancia del fundamento teórico de la nutrición, es importante el desarrollo de estrategias adecuadas para el cultivo de tabaco bajo condiciones locales. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue evaluar parámetros fisiológicos como fotosíntesis, máxima eficiencia fotosintética, conductancia estomática, transpiración y contenido de clorofila en función del estado nutricional de la planta.

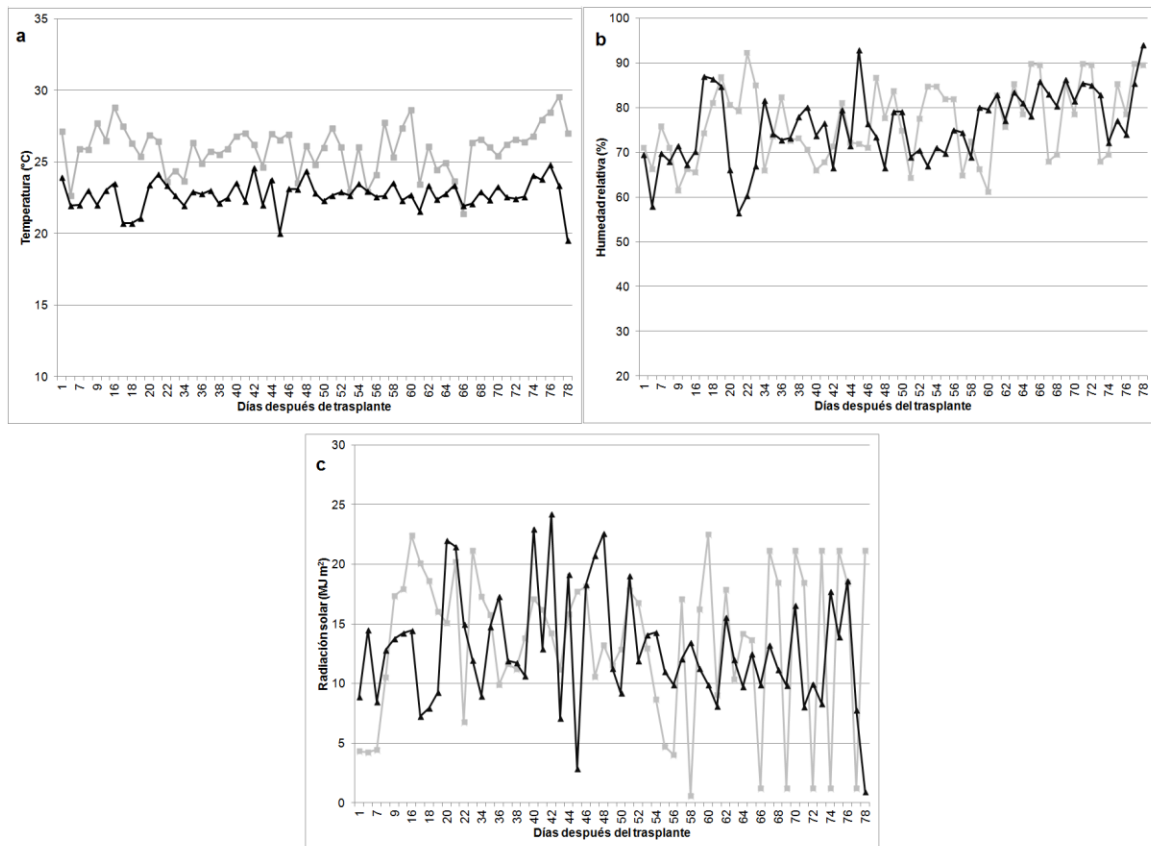
## 1.3 Materiales y métodos

### 1.3.1 Ubicación

El trabajo se realizó en el 2010, en dos fincas tabacaleras ubicadas del departamento del Huila (Colombia) en los municipios de Campoalegre ubicado a 525 msnm, temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 68% y radiación solar promedio de 32 MJ m<sup>-2</sup>, y el municipio de Garzón ubicado a 790 msnm, temperatura promedio de 25°C, humedad relativa de 74% y radiación solar promedio de 28 MJ m<sup>-2</sup> (**Figura 1-1**). Presentan suelos franco arenosos y pH ligeramente y moderadamente ácido respectivamente, contenidos de P, K, Mg, S y Cl no adecuados para el cultivo, textura, pH y porcentaje de N ideal (**Tabla 1-1**). El material utilizado fue tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) Virginia variedad NC297, se realizó semillero y cuando las plantas tenían 5 hojas verdaderas se trasplanto con densidad de siembra de 20.833 plantas ha<sup>-1</sup>, distribuidas en surcos de 1,2 m de

ancho y 0,4 m entre plantas, el manejo ejecutado en el cultivo fue de acuerdo a las prácticas de producción de cada zona de estudio.

**Figura 1-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). ■ Campoalegre y ▲ Garzón.



### 1.3.2 Diseño experimental y tratamiento

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3 x 2. Se utilizaron siete tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, los cuales correspondieron a seis alternativas de fertilización y un testigo comercial. El testigo correspondió al manejo actual recomendado por la empresa Protabaco (Plaza *et al.*, 2011a) y el utilizado por el productor. Las alternativas correspondieron a la combinación de tres dosis de fertilización y dos grupos de fuentes de aplicación (**Tabla 1-2**), manteniendo para el caso de las formas de N una proporción 50:50 de NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub>. Para la dosis se tuvo en cuenta la recomendación de fertilidad de

acuerdo al análisis de suelos (**Tabla 1-1**) según la metodología del ICA (1992) y Gómez, (2005), la cual corresponde al 100% (**Tabla 1-3**), 50% recomendación y 150% recomendación. Para realizar la recomendación de la cantidad de fertilizante que se aplicó los niveles de extracción para cada uno de los elementos minerales reportados por Ballari (2005) y una producción esperada de 3.200 Kg ha<sup>-1</sup> (**Tabla 1-3**).

**Tabla 1-1:** Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón

CAMPOALEGRE												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
6,3	3,49	4,51	8	5,52	0,19	1,54	0,08	0,00	7,33	44,1	5,52	0,74
GARZÓN												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
5,6	7,86	6,55	14,41	10,3	0,44	3,24	0,08	0,00	14,1	53,5	9,94	0,34

Los fertilizantes usados fueron:

- 17-9-18-3®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K:Mg:S igual a 17:9:18:3:6 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 60:40; fuente de K como sulfato de K).
- SolunK®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K igual a 13:3:43 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 5:95).
- Nitromag®, Yara, contiene los siguientes elementos en la proporción de N:Ca:Mg igual a 21:11:7,5 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 50:50).
- SAM®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:S igual a 21:24 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 100:0).
- Sulfato K®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de K:S igual a 50:17.
- DAP®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P igual a 18:46 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 100:0).



**Tabla 1-2:** Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ).

PRODUCTOS ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )							
Trat	ID*	Dosis	17-9-18-3	SolunK	Nitromag	SAM	Sulfato K DAP
<b>CAMPOALEGRE</b>							
T1	a50	50	275	288	175	50	
T2	a100	100	550	575	350	100	
T3	a150	150	825	863	525	150	
T4	b50	50	550	163	75		
T5	b100	100	1100	325	150		
T6	b150	150	1650	488	225		
T7	Testigo	Tes	750	50		50	100 50
<b>GARZÓN</b>							
T1	a50	50	250	288	63	25	
T2	a100	100	500	575	125	50	
T3	a150	150	750	863	188	75	
T4	b50	50	475	125	150		
T5	b100	100	950	250	300		
T6	b150	150	1425	375	450		
T7	Testigo	Tes	790	105		155	155

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

**Tabla 1-3:** Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila

ELEMENTO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
<b>CAMPOALEGRE</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (<math>\text{Kg ha}^{-1}</math>)</b>	256,1	52,7	347,5	90,7	25,7	47,39
<b>GARZÓN</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (<math>\text{Kg ha}^{-1}</math>)</b>	254,3	52,7	279,42	90,7	25,7	44,27

Las aplicaciones de los fertilizantes se realizaron según las curvas de absorción de elementos minerales por parte de la planta (Rojo, 2006), fraccionado en dos aplicaciones, siendo éstos momentos para los dos municipios 8 ddt (días después de trasplante) y 35 ddt, momentos que coincidían con la aplicación de fertilización del testigo.

### 1.3.3 Parámetros fisiológicos

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron tres mediciones de parámetros fisiológicos que indican el estado nutricional de la planta. Estas mediciones se realizaron en las diferentes etapas del desarrollo cultivo, el primero en estado de desarrollo lento (24 ddt) código escala BBCH 1105 (Coresta, 2009), el segundo en estado de crecimiento rápido (44 ddt) código escala BBCH 1110 (Coresta, 2009) y el tercero en floración (74 ddt) código escala BBCH 59 (Coresta, 2009).

Para el análisis fisiológico, se tomó la hoja 5 contada desde del meristemo apical, la cual se encontraba totalmente expandida. Las medidas de intercambio gaseoso ( $P_n$ ) se realizaron usando el sistema de fotosíntesis portátil LI-6200 (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), en cada muestreo se realizaron tres repeticiones que correspondieron a las tres horas del día, mañana (9 - 10 am), medio día (12 m - 1 pm) y tarde (3 - 4 pm).

La máxima eficiencia del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ) se midió mediante la técnica de fluorescencia directa, con el fluorómetro de fluorescencia continua Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd.). Las hojas se adaptaron previamente a la oscuridad durante 15 minutos, luego se expone a una máxima intensidad de luz de  $3.000 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . La conductancia estomática ( $g_s$ ) fue medida con el Decagon SC-1 Leaf Porometer (Decagon Devices, Inc., Pullman, Washington), la transpiración ( $E$ ) con el porómetro LI-1600 (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA). La transpiración, conductancia estomática y máxima eficiencia fotosintética se midieron en horas de la mañana entre 9 y 10 am.

Para el contenido de clorofila se tomaron 10 discos de 3 hojas diferentes totalmente expandidas por cada tratamiento. La extracción se hizo con etanol absoluto al 96% según la metodología de Flórez y Cruz (2004) y la absorbancia fue medida a 663 y 645 nm mediante un espectrofotómetro Thermo ELECTRON CORPORATION serie BioMate™ 3, y se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$Chl a = \frac{((12,7 A_{663}) - (2,69 A_{645})) * V}{1000 * W} \quad Chl b = \frac{((22,8 A_{645}) - (4,48 A_{663})) * V}{1000 * W}$$

$$Chl T = \frac{((20,2 A645) + (8,02 A663)) * V}{1000 * W}$$

Donde, A: es la absorbancia, V: volumen de extracto (ml) y W: peso fresco (mg) En estas formulas *Chl a*, *Chl b* y *Chl T* son respectivamente, concentraciones de clorofila a, clorofila b y total. La cantidad de estos pigmentos fue calculada como mg g<sup>-1</sup> (mg de clorofila por g de tejido).

### 1.3.4 Análisis estadístico

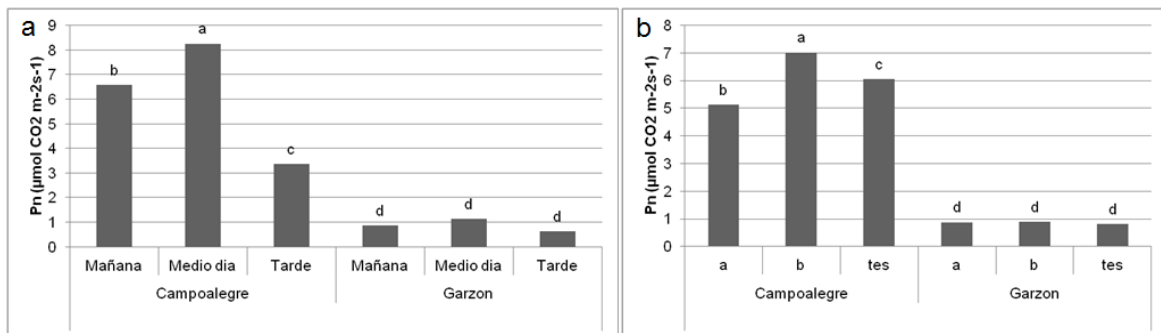
Se realizó un análisis de varianza (Anova) con el software estadístico SAS® v. 8.1e (SAS Institute Inc., Cary, NC) y cuando se presentaba significancia, se realizó prueba de comparación de medias LSD con una confiabilidad del 95%.

## 1.4 Resultados

### 1.4.1 Fotosíntesis

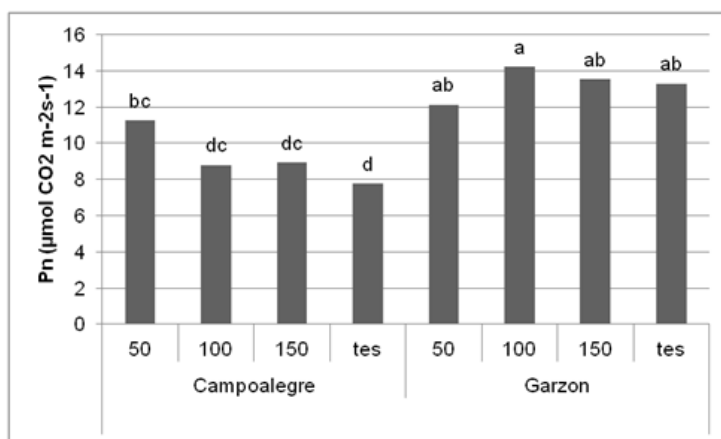
En la etapa de crecimiento lento se presentan diferencias altamente significativas entre las interacciones municipio-hora y municipio-fuente fertilizante (P <0,005). En general, el municipio con mayores valores de fotosíntesis fue Campoalegre con valores superiores a 3 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y para este municipio a medio día se presenta la mayor tasa fotosintética (8,25 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (**Figura 1-2a**). Por otro lado, la utilización de sulfato de amonio en Campoalegre presenta valores altos de 7 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (**Figura 1-2b**).

**Figura 1-2:** Tasa de fotosíntesis neta P<sub>n</sub> (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) en hojas de tabaco Virginia en etapa de crecimiento lento. a. Interacción municipio-hora. b. Interacción municipio-fuente fertilizante (a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM, tes: testigo).

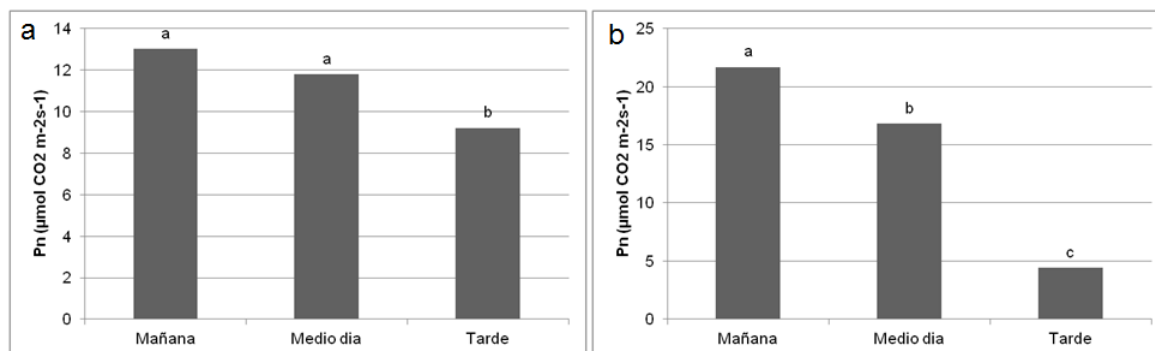


En etapa de crecimiento rápido se presentan diferencias significativas en la interacción municipio-dosis de fertilización ( $P < 0,01$ ), donde el municipio de Garzón presenta valores de tasa fotosintética superiores a  $12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y este municipio a la dosis de 100% la fertilización presenta el mayor valor de  $P_n$ , alcanzando  $14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (**Figura 1-3**). Para crecimiento rápido y floración se presentan diferencias estadísticas entre las horas evaluadas ( $P < 0,001$ ) y se puede observar que en horas de la mañana es el momento en el cual se presenta la mayor fotosíntesis neta para el cultivo de tabaco ( $13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y  $21 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente) (**Figura 1-4a y b**).

**Figura 1-3:** Tasa de fotosíntesis neta  $P_n$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) en hojas de tabaco Virginia en etapa de crecimiento rápido. Interacción municipio-dosis.



**Figura 1-4:** Tasa de fotosíntesis neta  $P_n$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) en hojas de tabaco Virginia en diferentes horas del día. a. Etapa de crecimiento rápido (44 ddt). b. Etapa de floración (74 ddt)



### 1.4.2 Máxima eficiencia del fotosistema II

En la etapa de crecimiento lento (24 ddt) se presentan diferencias altamente significativas entre los dos municipios evaluados ( $P < 0,001$ ), en la interacción municipio-dosis de fertilización ( $P < 0,001$ ) y diferencias significativas en la interacción municipio-fuente fertilizante-dosis ( $P < 0,05$ ). El municipio de Garzón presenta los mayores valores de Fv/Fm para todos los tratamientos. Los tratamientos que obtuvieron los mayores valores de máxima eficiencia del PSII fueron la utilización de SAM al 150% (a150) en el municipio de Garzón y la no aplicación de sulfato de amonio al 100% de la dosis (b100) en el municipio de Campoalegre (0,79 y 0,78 respectivamente) (**Tabla 1-4**).

En etapa de crecimiento rápido (44 ddt) se presentan diferencias altamente significativas únicamente entre los municipios de estudio ( $P < 0,001$ ), siendo el municipio de Garzón el que presenta los mayores valores de Fv/Fm, superiores a 0,75. En etapa de floración (76 ddt) no se presentan diferencias significativas (**Tabla 1-4**).

**Tabla 1-4:** Efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización evaluados sobre la máxima eficiencia del fotosistema II (Fv/Fm) en los dos municipios durante el desarrollo del cultivo de tabaco

Fuente	Dosis	Crecimiento lento		Crecimiento rápido		Floración	
		Campoalegre	Garzón	Campoalegre	Garzón	Campoalegre	Garzón
a	50	0,77 ab	0,78 ab	0,67	0,78	0,74	0,75
	100	0,74 b	0,76 ab	0,71	0,79	0,79	0,75
	150	0,69 c	0,79 a	0,66	0,80	0,80	0,78
b	50	0,68 c	0,76 ab	0,67	0,78	0,75	0,76
	100	0,79 a	0,77 ab	0,64	0,76	0,80	0,73
	150	0,69 c	0,77 ab	0,72	0,77	0,81	0,71
Testigo	Tes	0,69 c	0,77 ab	0,65	0,80	0,80	0,75
Fuente		NS		NS		NS	
Dosis		NS		NS		NS	
Fuente-Dosis		NS		NS		NS	
Municipio		***		***		NS	
Municipio-Fuente		NS		NS		NS	
Municipio-Dosis		***		NS		NS	
Municipio-Fuente-Dosis		**		NS		NS	

a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

NS, no significativo ( $P > 0,05$ )

\*Significancia a  $P < 0,05$

\*\*Significancia a  $P < 0,01$

\*\*\*Significancia a  $P < 0,001$

### 1.4.3 Conductancia estomática

En la etapa de crecimiento lento (24 ddt) se presentan diferencias altamente significativas entre las fuentes de fertilización ( $P < 0,001$ ) y los municipios evaluados ( $P < 0,001$ ), y diferencias significativas en la interacción fuente-dosis ( $P < 0,05$ ). El municipio con mayores valores de conductancia estomática fue Campoalegre con valores cercanos a  $2.000 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . La combinación de fertilización con mayor valor de gs fue la no utilización de SAM al 150% de la dosis (b150) con un valor de  $3.055 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (**Tabla 1-5**).

En etapa de crecimiento rápido y floración se presentan diferencias altamente significativas entre los municipios de estudio ( $P < 0,001$  y  $P < 0,001$ ), siendo el municipio de Campoalegre el que presenta los mayores valores de conductancia estomática, cercanos a  $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a los 44 ddt y  $2000$  a los 76 ddt  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (**Tabla 1-5**).

**Tabla 1-5:** Efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización evaluados sobre la conductancia estomática ( $g_s$ ) en  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en los dos municipios durante el desarrollo del cultivo de tabaco

Fuente	Dosis	Crecimiento lento		Crecimiento rápido		Floración	
		Campoalegre	Garzón	Campoalegre	Garzón	Campoalegre	Garzón
A	50	1729,73	995,40	406,44	27,97	1325,40	132,03
	100	1548,17	698,90	342,90	28,97	1773,97	190,37
	150	1296,43	399,07	318,11	67,13	2524,62	245,33
B	50	2381,97	744,77	390,45	56,73	1442,90	154,30
	100	2436,23	964,30	350,45	46,90	1500,06	161,83
	150	3054,80	1565,27	578,00	50,40	1845,01	179,40
Testigo	Tes	2266,63	1471,00	382,70	159,50	2623,40	228,00
Fuente		**		NS		NS	
Dosis		NS		NS		NS	
Fuente-Dosis		*		NS		NS	
Municipio		***		***		***	
Municipio-Fuente		NS		NS		NS	
Municipio-Dosis		NS		NS		NS	
Municipio-Fuente-Dosis		NS		NS		NS	

a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

NS, no significativo ( $P > 0,05$ )

\*Significancia a  $P < 0,05$

\*\*Significancia a  $P < 0,01$

\*\*\*Significancia a  $P < 0,001$

### 1.4.4 Transpiración

En la etapa de crecimiento lento (24 ddt) se presentan diferencias altamente significativas entre los dos municipios evaluados ( $P < 0,001$ ) y diferencias significativas en la interacción municipio-dosis de aplicación ( $P < 0,01$ ), fuente fertilizante-dosis ( $P < 0,001$ ) y en la interacción municipio-fuente-dosis ( $P < 0,01$ ). Para esta variable, el municipio de Campoalegre presenta los mayores valores para todos los tratamientos. El tratamiento que obtuvo la mayor transpiración fue la aplicación de SAM al 100% de la dosis (a100) con un valor de  $18,66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en el municipio de Campoalegre (**Tabla 1-6**).

En etapa de crecimiento rápido (44 ddt) y en floración (76 ddt) se presentan diferencias significativas únicamente entre los municipios de estudio ( $P < 0,001$  y  $P < 0,01$ ), siendo el municipio de Campoalegre el que presenta los mayores valores de transpiración, superiores a  $12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y  $15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente (**Tabla 1-6**).

**Tabla 1-6:** Efecto de diferentes fuentes y dosis de fertilización evaluados sobre la transpiración ( $E$ ) en  $\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en los dos municipios durante el desarrollo del cultivo de tabaco

Fuente	Dosis	Crecimiento lento		Crecimiento rápido		Floración	
		Campoalegre	Garzón	Campoalegre	Garzón	Campoalegre	Garzón
a	50	14,55	1,53	17,00	4,90	13,75	15,44
	100	18,66	0,81	11,70	7,77	23,00	9,10
	150	13,29	0,92	13,72	5,00	15,07	7,97
b	50	16,38	0,42	14,85	6,13	13,92	7,82
	100	15,17	1,04	8,25	7,40	13,51	13,65
	150	16,32	3,78	10,50	8,57	15,48	12,59
Testigo	Tes	14,14	3,20	14,44	3,38	17,96	8,44
	Fuente	NS		NS		NS	
	Dosis	NS		NS		NS	
	Fuente-Dosis	**		NS		NS	
	Municipio	***		***		*	
	Municipio-Fuente	NS		NS		NS	
	Municipio-Dosis	*		NS		NS	
	Municipio-Fuente-Dosis	*		NS		NS	

a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

NS, no significativo ( $P > 0,05$ )

\*Significancia a  $P < 0,05$

\*\*Significancia a  $P < 0,01$

\*\*\*Significancia a  $P < 0,001$

### 1.4.5 Contenido de clorofila

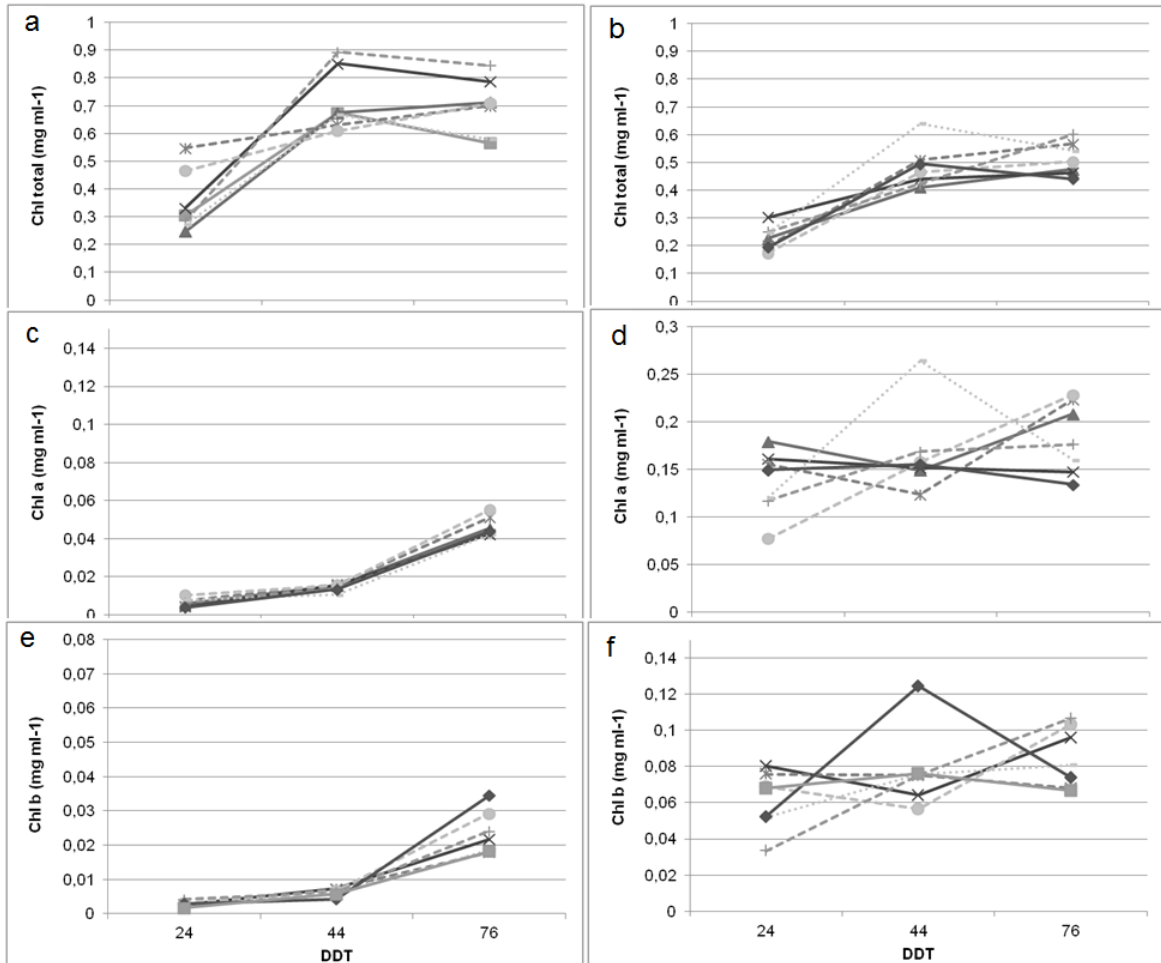
El contenido de clorofila total presenta diferencias altamente significativas en la interacción tiempo-municipio-fuente fertilizante ( $P < 0,001$ ), tiempo-municipio-dosis ( $P < 0,001$ ) y tiempo-municipio-fuente-dosis ( $P < 0,001$ ). Para los dos municipios se observa un aumento en el contenido de clorofila de las hojas de tabaco a través del tiempo, el municipio que presenta mayores valores es Campoalegre, en el cual los contenidos de clorofila después de etapa de crecimiento rápido se encuentran entre 0,5 y 0,9  $\text{mg g}^{-1}$ , mientras en Garzón el rango oscila entre 0,4 y 0,7  $\text{mg g}^{-1}$  (**Figura 1-5a**). En Campoalegre se alcanzan para los dos planes al 150% de la dosis de aplicación los contenidos más altos de clorofila total (0,85 y 0,89  $\text{mg g}^{-1}$ ) en etapa de crecimiento rápido (**Figura 1-5a izq.**). Para Garzón, el máximo contenido se logra con la no utilización de sulfato de amonio al 150% de la dosis (b150) con un valor de 0,64  $\text{mg g}^{-1}$  (**Figura 1-5a der.**).

El contenido de clorofila a y b presenta diferencias altamente significativas para todas las interacciones ( $P < 0,001$ ). El municipio que presenta menores valores de Chl a y b es Campoalegre, donde estos contenidos para todos los tratamientos se encuentran en un rango de 0,004 a 0,055  $\text{mg g}^{-1}$  para Chl a y 0,001 a 0,034 para Chl b. Mientras que en Garzón el rango es de 0,07 a 0,26  $\text{mg g}^{-1}$  para Chl a y 0,03 a 0,12 para Chl b. Para los dos municipios se presenta un aumento en los contenidos de las clorofilas a y b, a excepción del tratamiento b150 en Garzón, el cual alcanza su mayor valor en etapa de crecimiento rápido (0,26  $\text{mg g}^{-1}$  y 0,12  $\text{mg g}^{-1}$  respectivamente) (**Figura 1-5**).

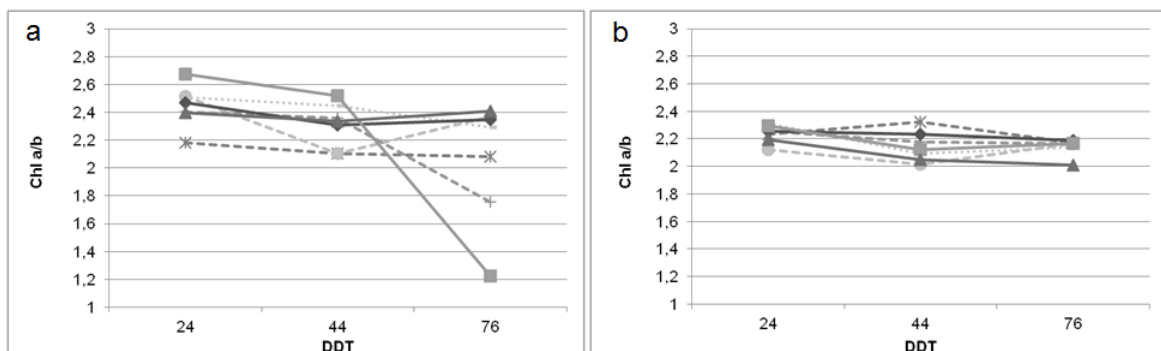
Para la relación de clorofilas a/b, se puede observar que para el municipio de Campoalegre, los dos tratamientos al 150% de la dosis (con y sin aplicación de sulfato de amonio) presentan una disminución significativa en etapa de floración del cultivo, reportando los menores valores para esta relación (1,77 y 1,22 respectivamente) (**Figura 1-6**).



**Figura 1-5:** Contenido de clorofilas en la hoja de tabaco en los municipios de Campoalegre (a, c y e) y Garzón (b, d y f). a y b. Contenido de clorofila total (Chl total). c y d. Contenido de clorofila b (Chl b). e y f. Contenido de clorofila a (Chl a.). a50: —■—; a100: —▲—; a150: —×—; b50: —\*—; b100: —●—; b150: —+—; Testigo: ..... .



**Figura 1-6:** Relación de contenido de clorofilas a/b en la hoja de tabaco en los municipios de Campoalegre (a) y Garzón (b). a50: —■—; a100: —▲—; a150: —×—; b50: —\*—; b100: —●—; b150: —+—; Testigo: ..... .



## 1.5 Discusión

La fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración del cultivo de tabaco se vieron afectadas principalmente por el municipio de evaluación, donde Campoalegre presentó los mayores valores de estas variables. Esto se debe a que las condiciones ambientales de cada zona presentaban diferencias en temperatura, radiación solar y humedad relativa. El municipio de Campoalegre presenta mayor radiación solar, temperatura promedio y menor humedad relativa, respecto al municipio de Garzón (**Figura 1-1**). El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de diferentes variables ambientales, tales como temperatura, humedad relativa, intensidad de luz y disponibilidad de agua y minerales esenciales (Azcón-Bieto *et al.*, 2004; Hermans *et al.*, 2006). Estos factores ambientales también modifican significativamente la capacidad fotosintética de las plantas. Mayor producción fotosintética ocurre con mayor radiación (Niinemets, 2007), incrementos de temperatura suelen incrementar las tasas fotosintéticas hasta el punto de la desnaturalización de enzimas y la destrucción de los fotosistemas (Evans, 1989). Igualmente, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y las condiciones de luz influyen la morfo-fisiología, distribución de biomasa (Hernández *et al.*, 2009) y los procesos fotosintéticos y respiratorios de las plantas (Azcón-Bieto *et al.*, 2004).

La fotosíntesis neta alcanzó el mayor valor ( $14 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) a la dosis recomendada (100%) independiente de la fuente fertilizante, en etapa de crecimiento rápido. Resultados similares se obtuvieron en *Pinus palustris*, donde la Pn fue significativamente mayor con alta disponibilidad de nutrientes con respecto a bajos niveles de fertilización (Jose *et al.*, 2003). Incrementos en la eficiencia fotosintética al aumentar las dosis de N, pueden estar relacionados con la habilidad de la planta para optimizar su capacidad fotosintética por un incremento en el suplemento de nitrógeno (Sanclemente y Peña, 2008). Sin embargo, una alta disponibilidad de elementos en el suelo no se traduce directamente en mayor fotosíntesis de la planta (Jose *et al.*, 2003). En olivo, disminuciones en la proporción de nitrógeno aplicado afecta la capacidad fotosintética de la planta, reduciendo entre un 16 y 28% la asimilación de  $\text{CO}_2$  con 60% menos de este elemento. La disminución en la capacidad fotosintética no está solo asociada con los

efectos directos de la deficiencia de N también con un negativo mecanismo de retroalimentación de carbohidratos a partir de la hoja (Boussadia *et al.*, 2010).

Una disminución en la adición de N dentro de la fertilización disminuye el crecimiento y la fotosíntesis, debido a que reduce la producción de hojas, el área foliar individual y total resultando en una reducción del área la cual intercepta la luz para la fotosíntesis (Cechin y De Fátima-Fumis, 2004). Una disminución en la tasa fotosintética bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno es atribuida a una reducción en el contenido de la clorofila y en la actividad de la Rubisco, debido a que el 75% del N foliar está en los cloroplastos y la mayor parte de este es invertido en la ribulosa bifosfato carboxilasa (Tóth *et al.*, 2002; Correia *et al.*, 2005). Sin embargo, en condiciones de altos niveles de nitrógeno, también se presenta disminución en la actividad fotosintética de las plantas, indicando que la tasa de asimilación por unidad de clorofila puede inhibirse con un aumento en el suplemento del elemento (Tóth *et al.*, 2002). En tabaco hay una estrecha relación entre la forma de nitrógeno aplicada (nitrúrica y/o amoniacal) y la tasa fotosintética, crecimiento, rendimiento y calidad (Feng y Peng 1998, Yang *et al.* 1999, citados por Guo *et al.*, 2006). Estudios realizados en tabaco por Geiger *et al.* (1999) muestran que plantas fertilizadas con  $\text{NH}_4$  tienen mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  y conductancia estomática que las fertilizadas con  $\text{NO}_3$ . Sin embargo, Guo *et al.* (2006) demostraron que cuando hay aplicaciones de las dos formas de nitrógeno, la tasa fotosintética y la máxima eficiencia fotosintética no se ven afectadas y pueden aumentar.

La eficiencia fotosintética, se puede ver limitada por la disminución en el contenido de Rubisco y clorofila en las hojas, así como la producción cuántica de la fotosíntesis. La correlación entre el contenido de nitrógeno y la eficiencia fotosintética varía dependiendo del hábitat de la planta y de factores ambientales como la temperatura y la radiación (Tóth *et al.*, 2002; Lamsfus *et al.*, 2003). Incremento en la eficiencia fotosintética al aumentar las dosis de N puede estar asociado con la habilidad de la planta para optimizar su capacidad fotosintética por un incremento en el suplemento de nitrógeno (Sanclemente y Peña, 2008). Una reducción en la tasa fotosintética puede resultar en una significativa reducción en el crecimiento de las plantas de tabaco (Karkanis *et al.*, 2007) y por lo tanto en el rendimiento. Pieters *et al.* (2001) reportan una disminución en la tasa fotosintética cuando hay deficiencia de P. El principal efecto de la deficiencia de potasio en plantas de algodón es la reducción de la fotosíntesis y desarrollo del área

foliar, trayendo como consecuencia una disminución en la producción de biomasa y cambios en la distribución de biomasa entre los órganos de la planta (Reddy y Zhao, 2005).

Una adecuada fertilización potásica en algodón es importante para el crecimiento, desarrollo, expansión foliar, producción de biomasa, fotosíntesis, transpiración y uso eficiente del agua. Por lo tanto, una deficiencia de este elemento reduce significativamente la fotosíntesis, conductancia estomática, contenido de clorofila y síntesis de RuBP carboxilasa (Zhao *et al.*, 2001; Dong *et al.*, 2004; Pervez *et al.*, 2004; Reddy *et al.*, 2004).

La conductancia estomática alcanzó el mayor valor ( $3.055 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) a la mayor dosis (150%) cuando no se utilizó sulfato de amonio como fertilizante, en etapa de crecimiento lento. Tóth *et al.* (2002); Hossain *et al.* (2010) y Reedy y Matcha (2010), reportan que la fotosíntesis y conductancia estomática incrementan con el incremento de las concentraciones de nutrientes hasta cierto punto donde empiezan a disminuir. Esta disminución puede estar relacionada con cierre estomático el cual se da bajo condiciones de estrés, por ejemplo estrés abiótico por uso excesivo de fertilizantes. El estrés produce cambios en el balance hormonal de la planta, incrementando la acumulación de ABA en las hojas, hormona que interviene en el movimiento estomático regulando el intercambio de gas y vapor de agua entre las hojas y la atmosfera, y en altas concentraciones induce el cierre de estomas (Rodríguez-Pérez, 2006; Taiz y Zeiger, 2006). Sin embargo, existen datos contradictorios sobre el efecto del nitrógeno en la conductancia estomática. Una menor oferta de nitrógeno no tiene efecto en la gs de las hojas de girasol; sin embargo, gs disminuyó con la edad de la hoja tanto para las plantas con bajo y alto N (Cechin y De Fátima-Fumis, 2004). Limitado N en plantas de lechuga dan como resultado menor conductancia estomática (Broadley *et al.*, 2000). Mayor conductancia estomática y transpiración en plantas de girasol deficientes de nitrógeno (Ciompi *et al.*, 1996).

Los factores que más influyen en la resistencia estomática o conductancia estomática son la luz y el agua en condiciones de campo (Turner, 1974). La asimilación de carbono depende de la conductancia estomática. A medida que aumenta la conductancia estomática, aumentará la tasa de asimilación, debido a que con baja conductancia

estomática la enzima RuBP carboxilasa oxigenasa estará saturada o limitada con alta conductancia estomática (Broadley *et al.*, 2000).

La transpiración en etapa de crecimiento lento alcanzó el mayor valor ( $18,66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) a la dosis recomendada (100%) cuando se utilizó SAM como fertilizante. Hernández *et al.* (2009) reporta que la alta fertilización induce significativamente un incremento en la fotosíntesis neta y una tendencia a disminuir la transpiración. En el alto suministro de nitrógeno la cantidad de agua perdida a través de la transpiración fue mayor que en bajo suministro. Sin embargo, el aumento observado en E en alto N no se tradujo en un menor uso eficiente del agua, debido a mayores tasas de fotosíntesis (Cechin y De Fátima-Fumis, 2004)

Bajo deficiencia de potasio se ve afectada la tasa fotosintética y la transpiración en plantas de tomate, siendo estas diferencias más significativas en estado vegetativo (Kanai *et al.*, 2011). El potasio es requerido en concentraciones relativamente altas para el metabolismo fotosintético y juega un papel importante en las relaciones hídricas de la planta (Marschner, 1995; Kanai *et al.*, 2011).

Diversos factores abióticos de estrés ambiental, tales como temperaturas altas, sequía, cambios en la intensidad luminosa, deficiencias nutricionales, presencia de metales pesados, y herbicidas entre otros, afectan de manera directa o indirecta la función del fotosistema II, lo cual modifica la emisión de la fluorescencia, estos cambios son utilizados para cuantificar las respuestas a la presencia de estrés (González *et al.*, 2008).

En el presente trabajo el municipio de Garzón presentó los mayores valores de máxima eficiencia del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ), superiores a 0,75. En esta de crecimiento lento, el tratamiento con mayor eficiencia del PSII fue la utilización de SAM al 150% de la dosis (0,79) en el municipio de Garzón. Estos resultados están de acuerdo con investigaciones realizadas en maíz, donde altas aplicaciones de nitrógeno presentan mayor valor de clorofila fluorescente, conductancia estomática y tasa de transpiración (Selvaraju y Iuthayaraj, 1995, citados por Lu y Zhang, 2000 y Karkanis *et al.*, 2007; Tóth *et al.*, 2002). En arroz, suministro eficiente de N tiene como respuesta mayor tasa fotosintética y  $F_v/F_m$  versus N ineficiente (Wei *et al.*, 2009). Por otro lado, en trigo, no se presentaron diferencias en la máxima eficiencia del fotosistema II cuando hay aplicaciones con alto o

bajo contenido de N (Cai *et al.*, 2008), aunque la PN y gs incrementan con altas aplicaciones de N comparado con bajas aplicaciones (Shangguan *et al.*, 2000; Cai *et al.*, 2008).

Sin embargo, otras investigaciones en especies como girasol, maíz y tomate, reportan alta gs, E y PN con bajas dosis de este elemento (Cechin, 1998; Cechin y Terezinha, 2004; citados por Karkanis *et al.*, 2007; Guidi *et al.*, 1998). Las respuestas fisiológicas de la planta sugieren que la actividad fotoquímica del Fotosistema II no depende exclusivamente de la disponibilidad de nitrógeno, aunque una deficiencia en este elemento afecta directamente el contenido de la clorofila y por ende la tasa efectiva de crecimiento de la planta (Sanclimente y Peña, 2008)

En cuanto al contenido de clorofila total, se presentaron diferencias significativas para todos los tratamientos, donde las aplicaciones con altas dosis de elementos minerales presentaron las mayores valores de clorofila total, clorofila a y b, pero menor relación a/b. Resultados similares se encontraron en cultivos de maíz, con mayor suministro de N mayor contenido de clorofila por área foliar y viceversa, pero menor relación clorofilas a/b, donde esta disminuye al aumentar la disponibilidad de nitrógeno (Lu y Zhang, 2000; Tóth *et al.*, 2002). Por otro lado, en cultivos de trigo no se presentaron diferencias en el contenido de clorofila con aplicaciones de alto y bajo N, esta misma tendencia se pudo observar en la relación de clorofilas a/b (Cai *et al.*, 2008).

Zhao *et al.* (2003), comenta que plantas de maíz bajo deficiencia de N presentaron menor contenido de clorofila, el cual se asoció a una disminución en la Pn, pero menor relación clorofila a/b, debido a que la reducción de la clorofila a fue mayor que la de la clorofila b. La disminución relativa del contenido de clorofila a versus b puede ser debido al auto-sombreamiento de las plantas con mayores niveles de nitrógeno (Tóth *et al.*, 2002). En olivo hay menor contenido de clorofila a con deficiencia de N (Boussadia *et al.*, 2010). En general, las deficiencias de N disminuyen el contenido de clorofila (Zhao *et al.*, 2005). En suelos con alta fertilidad se presenta mayor contenido de clorofila a, b y total y menor relación a/b (Minotta y Pinzauti, 1996). Deficiencias de potasio lleva a una disminución en el contenido de clorofila y tasa fotosintética (Zhao *et al.*, 2001).







## **2. Determinación del contenido de nutrientes de tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila**

### **2.1 Resumen**

El tabaco es una planta de crecimiento rápido y así mismo es la absorción de nutrientes. Igualmente, es uno de los cultivos en los que más claramente se manifiestan los efectos de una adecuada fertilización, tanto en lo que se refiere a calidad como a cantidad. El objetivo del presente trabajo fue determinar el contenido de nutrientes del tabaco durante el ciclo de del cultivo bajo diferentes dosis y fuentes de fertilización, en dos municipios del departamento Huila, realizando seis análisis foliares, tres mediciones durante crecimiento vegetativo hasta floración en diferentes etapas fenológicas y tres durante la cosecha. Se evaluaron siete tratamientos correspondientes a seis alternativas de fertilización (tres dosis y dos alternativas de fuentes de aplicación) y un testigo comercial. Los elementos evaluados fueron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y cloro (Cl). De acuerdo a los resultados de los análisis foliares realizados en durante crecimiento vegetativo hasta floración, se encuentran diferencias en el contenido de nitrógeno, calcio, magnesio y cloro en los dos municipios y a través del tiempo, presentándose aumento en los contenidos. Durante esta etapa los elementos que presentan mayor acumulación fueron N, K y Ca. Durante la cosecha el contenido de potasio, magnesio y calcio disminuyó a través del tiempo. Para nitrógeno, azufre y cloro se presentan diferencias en la interacción tiempo-municipio.

### **2.2 Introducción**

Alrededor del mundo se cultivan aproximadamente 3,9 millones de hectáreas de tabaco distribuidas en 120 países, de estas cerca del 60% se cosechan en tabaco Virginia,

seguido por los tabacos Burley y Oriental con 13% y 12% respectivamente, los tabacos oscuros 6% y otros 9%; por lo tanto el tabaco es uno de los cultivos económicamente más importantes dentro de la producción agrícola mundial (Rojo, 2008).

Las prácticas culturales y los requerimientos nutricionales de los diversos tipos de tabaco varían de acuerdo a las características exigidas en el producto final (hoja curada), por lo tanto el manejo de la fertilización ha evolucionado continuamente para alcanzar máximos rendimientos, alta calidad y rentabilidad. El tabaco es uno de los cultivos en los que más claramente se manifiestan los efectos de una adecuada fertilización, tanto en lo que se refiere a calidad como a cantidad (Ballari, 2005).

El nitrógeno es el elemento que tiene un mayor efecto en el crecimiento y calidad de tabaco Virginia comparado con otros elementos esenciales, aunque no es requerido en grandes cantidades (Collins y Hawks, 1994; Xi, *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Ju, *et al.*, 2008; Parker, 2009; Smith, 2009). Ambos, excesiva o inadecuada aplicación de N, pueden afectar el rendimiento y calidad de tabaco Virginia (Marchetti *et al.*, 2006; Reed, 2008; Reed *et al.*, 2011). El papel del nitrógeno en el desarrollo y calidad de tabaco es de mayor importancia con respecto al momento de absorción, forma de nitrógeno absorbido, tasa de aplicación, concentración en hojas y otros numerosos aspectos (Parker, 2009). El nitrógeno determina el rendimiento de la hoja, las cualidades de aroma y gusto, y el sabor del humo (Smith, 2004; Lu *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Marambe y Sangakkara, 2008). Excesos de nitrógeno producen tabacos con sabor más fuerte y picante, siendo éste de origen diferente al producido por un elevado contenido de nicotina. Igualmente, producen un enverdecimiento excesivo y acumulación de nitratos en hoja. Cuando se fertiliza con muy poco nitrógeno el sabor se vuelve más insípido y al arder proporcionan un sabor amargo debido a la mayor riqueza en carbohidratos insolubles y ácidos oxálicos; además, se produce un retraso de la maduración y un color deficiente (Smith, 2004; Lu *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Marambe y Sangakkara, 2008). Para el cultivo de tabaco las recomendaciones de este elemento varían de acuerdo a los autores, Rojo (2008) reporta que el requerimiento de N está entre 90-100 kg ha<sup>-1</sup>, para Reed *et al.* (2011) está entre 67-78 kg ha<sup>-1</sup>, Smith (2009) recomienda entre 56 y 90 kg ha<sup>-1</sup>, Ballari (2005) reporta que para un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup> se requieren 181 kg de N.

El fósforo, es fundamental ante todo en las primeras etapas de desarrollo de la planta de tabaco y sus requerimientos para tabaco Virginia son generalmente bajos, influyendo el desarrollo de las raíces, crecimiento de la planta y el desarrollo y calidad de las primeras hojas. Este elemento mineral mejora el color de la hoja del tabaco, en aplicaciones moderadas y acelera el crecimiento, madurez y mejora la calidad del tabaco. Un exceso de fósforo se traduce en una disminución de calidad: hojas secadas irregularmente y con asperezas, que producen ceniza negra en lugar de blanca. El contenido de P en la hoja es positivamente relacionado con el contenido de azúcar, parámetro de calidad en las hojas de tabaco (Crafts-Brandner *et al.*, 1990; Smith, 2004; Ballari, 2005; Whitey *et al.*, 1966, citado por Rojo, 2008). Deficiencias de fósforo, además de retrasar la maduración, provoca una reducción en el contenido de nitrógeno y el magnesio (McEvoy, 1951, citado por Rojo, 2008). Para tabaco las recomendaciones de este fósforo ( $P_2O_5$ ) varían según los autores, Rojo (2008) reporta que el requerimiento está entre 60-70 kg ha<sup>-1</sup>, para Reed *et al* (2011) es de 44 kg ha<sup>-1</sup>, Smith (2009) recomienda 17 kg ha<sup>-1</sup> y Ballari (2005) menciona que para un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup> se requieren 23 kg de  $P_2O_5$ .

El potasio es uno de los principales elementos minerales necesario para el crecimiento y desarrollo de tabaco. El contenido de K en la hoja de tabaco está altamente correlacionado con la calidad de la hoja de tabaco y la seguridad del cigarrillo (color de la hoja, textura, contenido de azúcares, nicotina y combustibilidad) (Ballari, 2005; Gurumurthy y Vageesh, 2007; Yang, *et al.*, 2007). La calidad del tabaco está determinada por el contenido de azúcar y nicotina en las hojas y la relación azúcar/nicotina (Elliot y Back, 1963; Redonet *et al.*, 2004; Smith, 2004; Lu *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2007). La hoja producida con alto K es suave y delgada con mejor capacidad de quemado, comparado con plantas producidas con baja aplicación de K (Gurumurthy y Vageesh, 2007). Altas concentraciones de K (>25 g kg<sup>-1</sup>) en hojas curadas mejoran la calidad de la hoja por incrementar la tasa de quemado y la capacidad de retención del fuego (Miner y Tucker, 1990). Concentraciones de K  $\geq$  a 2% sobre el peso seco son usualmente esenciales para producir hojas superiores (Sims, 1985; Chouteau y Fauconnier, 1988; Leymonie y Etourneaud, 1996 citados por Zhengxiong *et al.*, 2010) y bajas concentraciones de K (<2%) en hojas reducen la calidad del tabaco en China (Cao *et al.*, 1990; Hu *et al.*, 1997; Wu, 1999 citados por Zhengxiong *et al.*, 2010). Para este cultivo las recomendaciones varían de acuerdo a los autores, Rojo (2008) reporta que el requerimiento de  $K_2O$  está entre 160-180 kg ha<sup>-1</sup>, para Reed *et al* (2011) está entre 110-195 kg ha<sup>-1</sup>, Smith (2009)

recomienda 100 kg ha<sup>-1</sup>, Ballari (2005) reporta que para un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup> se requieren 250 kg de K<sub>2</sub>O.

El magnesio es el componente esencial de la clorofila, por consiguiente en los procesos de fotosíntesis, juega un papel importante en el desarrollo de la planta (Pinkerton, 1972; Smith, 2004). En el tabaco, el incremento del contenido de magnesio en hoja hasta 2% mejora la combustibilidad y la apariencia (color y textura) de las cenizas, dando lugar a una ceniza porosa, suelta y de color claro que mejora la combustión. Sin embargo, un incremento superior afecta negativamente ambos indicadores. La deficiencia de magnesio disminuye la calidad de la hoja, produciendo hojas curadas oscuras con coloración irregular además de reducción en el contenido de azúcar y almidón, así como un incremento indeseado en el contenido de cenizas (Pinkerton, 1972; Smith, 2004; Rojo, 2008). Como regla general se ha fijado que la relación K:Mg en el suelo es útil como indicador de la demanda de magnesio y su valor varía entre 4:1 y 7:1 (Pinkerton, 1972; Smith, 2004). Rojo (2008) reporta que el requerimiento de MgO está entre 10-12 kg ha<sup>-1</sup>, Reed *et al* (2011) menciona que es de 33 kg ha<sup>-1</sup>, Smith (2009) recomienda entre 16 y 20 kg ha<sup>-1</sup>, Ballari (2005) reporta que se requieren 31 kg de MgO para un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup>.

El 90% del calcio presente en la planta se encuentra en la lámina media de las paredes celulares formando enlaces entre las pectinas, las membranas y en las vacuolas (Rojo, 2008). López-Lefebre *et al.*, (2001) reportan que el calcio es el elemento mineral de mayor demanda en cantidad por la planta de tabaco después del potasio, y el contenido de este elemento en la hoja curada puede estar entre el 1,5% y 2%. Mientras que Moustakas y Ntzanis (2005) señalan que el segundo elemento de mayor extracción es el nitrógeno. Sin embargo, de lo que no queda duda es que el Potasio, Nitrógeno y Calcio son los tres elementos más demandados por la planta de tabaco (Rojo, 2008). Los requerimientos reportados para este elemento son según Rojo (2008) entre 20-24 kg ha<sup>-1</sup>, para Reed *et al* (2011) y Smith (2009) entre 44-56 kg ha<sup>-1</sup>, Ballari (2005) reporta que se requieren 141 kg de CaO para obtener un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup>.

Los productores, con frecuencia, subestiman la importancia del azufre para la calidad y el rendimiento del tabaco, así mismo cuantifican equivocadamente el azufre suministrado

por las deposiciones atmosféricas, que se ha venido reduciendo en la mayoría de áreas cultivadas con tabaco (Smith, 2004). El azufre es un componente esencial de las proteínas, hace parte de algunos aminoácidos esenciales como la cisteína y la metionina, y está involucrado en la síntesis de azúcares, por lo tanto, su deficiencia se caracteriza por el desarrollo atrofiado, amarillamiento y enrollamiento de las hojas jóvenes; además, un suministro insuficiente de azufre ocasiona la acumulación indeseada de fracciones solubles de nitrógeno en la hoja de tabaco. Por otro lado, el exceso de azufre afecta la combustibilidad del tabaco y existen evidencias, de que puede disminuir el índice de alcalinidad de las cenizas (Smith, 2004; Rojo, 2008). Igualmente, un exceso de azufre con niveles superiores al 1% a nivel foliar, puede afectar el aroma, y esta característica es fundamental en el tabaco Virginia ya que es usado como aromatizante y saborizante en las mezclas de cigarrillos (Rojo, 2008). Las recomendaciones de este elemento para el cultivo de tabaco varían según los autores, Rojo (2008) reporta que el requerimiento de S está entre 35-45 kg ha<sup>-1</sup>, Smith (2009) recomienda entre 20 y 30 kg ha<sup>-1</sup> y según Ballari (2005) para obtener un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup> se requieren 31 kg de S.

Un aspecto determinante en el cultivo del tabaco es el efecto perjudicial que ejerce el cloro sobre la calidad del cultivo, principalmente por reducir la combustibilidad de la hoja seca de tabaco y por aumentar la higroscopicidad, lo que ocasiona problemas durante el secado y la fermentación de las hojas de tabaco (Elliot y Back, 1963). Altas concentraciones de cloro (>10 g kg<sup>-1</sup> o más del 1%) en hoja curada disminuyen la calidad por reducir la tasa de quemado y la capacidad de retención del fuego y por incrementar el equilibrio de humedad (Miner y Tucker, 1990; Rojo, 2008). Es por tanto esencial que el abono aplicado tenga un contenido mínimo de cloro, por lo que se deben aplicar abonos que contengan el potasio en forma de sulfato potásico, nunca en forma de cloruro potásico. Esta sustitución del cloruro potásico por sulfato potásico tiene además como ventaja la aportación de azufre, elemento nutritivo importante en la nutrición del tabaco y que interviene en múltiples reacciones metabólicas (Smith, 2004; Ballari, 2005). Las recomendaciones de cloro para el cultivo son de 5 a 7 kg ha<sup>-1</sup> (Ishizaki y Akiya, 1978).

Teniendo en cuenta la importancia del fundamento teórico de la fertilización edáfica es importante el desarrollo de las estrategias de nutrición adecuada para el tabaco bajo las condiciones locales. Al mismo tiempo, las prácticas de fertilización de tabaco se realizan basadas en las recomendaciones desarrolladas para las condiciones climáticas, el

manejo agronómico y las prácticas de poscosecha (Torrecilla *et al.*, 1980) poco aplicables a las que encuentran en zonas productoras de Colombia. El objetivo del presente trabajo fue determinar el contenido de nutrientes del tabaco durante el ciclo del cultivo bajo diferentes dosis y fuentes de fertilización.

## 2.3 Materiales y métodos

### 2.3.1 Ubicación

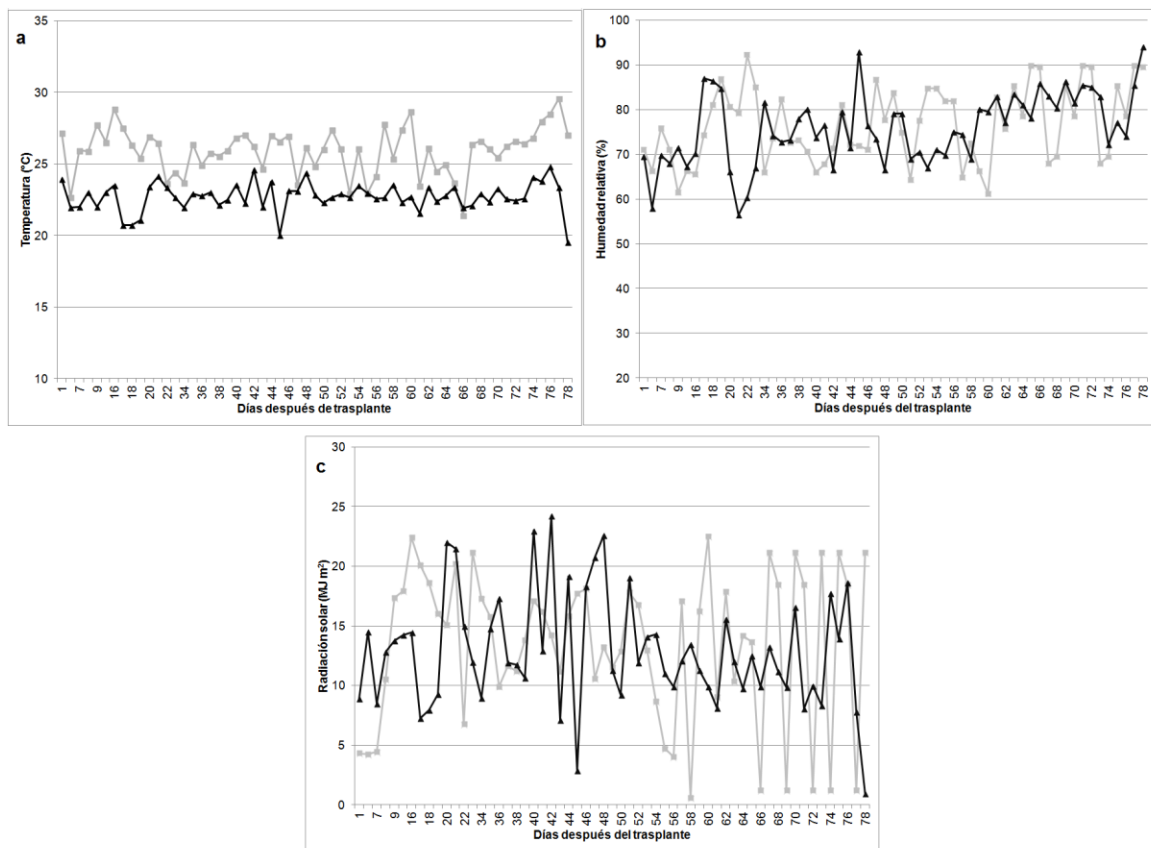
El trabajo se realizó en el 2010, en dos fincas tabacaleras ubicadas del departamento del Huila (Colombia) en los municipios de Campoalegre ubicado a 525 msnm, temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 68% y radiación solar promedio de 32 MJ m<sup>-2</sup>, y el municipio de Garzón ubicado a 790 msnm, temperatura promedio de 25°C, humedad relativa de 74% y radiación solar promedio de 28 MJ m<sup>-2</sup> (**Figura 2-1**). Presentan suelos franco arenosos y pH ligeramente y moderadamente ácido respectivamente, contenidos de P, K, Mg, S y Cl no adecuados para el cultivo, textura, pH y porcentaje de N ideal (**Tabla 2-1**). El material utilizado fue tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) Virginia variedad NC297, se realizó semillero y cuando las plantas tenían 5 hojas verdaderas se trasplanto con densidad de siembra de 20.833 plantas ha<sup>-1</sup>, distribuidas en surcos de 1,2 m de ancho y 0,4 m entre plantas, el manejo ejecutado en el cultivo fue de acuerdo a las prácticas de producción de cada zona de estudio.

### 2.3.2 Diseño experimental y tratamientos

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3 x 2. Se utilizaron siete tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, los cuales correspondieron a seis alternativas de fertilización y un testigo comercial. El testigo correspondió al manejo actual recomendado por la empresa Protabaco (Plaza *et al.*, 2011a) y el utilizado por el productor. Las alternativas correspondieron a la combinación de tres dosis de fertilización y dos grupos de fuentes de aplicación (**Tabla 2-2**), manteniendo para el caso de las formas de N una proporción 50:50 de NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub>. Para la dosis se tuvo en cuenta la recomendación de fertilidad de acuerdo al análisis de suelos (**Tabla 2-1**) según la metodología del ICA (1992) y Gómez, (2005), la cual corresponde al 100% (**Tabla 2-3**), 50% recomendación y 150%

recomendación. Para realizar la recomendación de la cantidad de fertilizante que se aplicó los niveles de extracción para cada uno de los elementos minerales reportados por Ballari (2005) y una producción esperada de 3.200 Kg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 2-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). ■ Campoalegre y ▲ Garzón.



**Tabla 2-1:** Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón

CAMPOALEGRE												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
6,3	3,49	4,51	8	5,52	0,19	1,54	0,08	0,00	7,33	44,1	5,52	0,74
GARZÓN												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
5,6	7,86	6,55	14,41	10,3	0,44	3,24	0,08	0,00	14,1	53,5	9,94	0,34

Los fertilizantes usados fueron:

17-9-18-3®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K:Mg:S igual a 17:9:18:3:6 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 60:40; fuente de K como sulfato de K).

SolunK®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K igual a 13:3:43 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 5:95).

Nitromag®, Yara, contiene los siguientes elementos en la proporción de N:Ca:Mg igual a 21:11:7,5 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 50:50).

SAM®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:S igual a 21:24 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 100:0).

Sulfato K®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de K:S igual a 50:17.

DAP®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P igual a 18:46 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 100:0).

**Tabla 2-2:** Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado (Kg ha<sup>-1</sup>).

PRODUCTOS (Kg ha <sup>-1</sup> )								
Trat	ID	Dosis	17-9-18-3	SolunK	Nitromag	SAM	Sulfato K	DAP
<b>CAMPOALEGRE</b>								
T1	a50	50	275	288	175	50		
T2	a100	100	550	575	350	100		
T3	a150	150	825	863	525	150		
T4	b50	50	550	163	75			
T5	b100	100	1100	325	150			
T6	b150	150	1650	488	225			
T7	Testigo	Tes	750	50		50	100	50
<b>GARZÓN</b>								
T1	a50	50	250	288	63	25		
T2	a100	100	500	575	125	50		
T3	a150	150	750	863	188	75		
T4	b50	50	475	125	150			
T5	b100	100	950	250	300			
T6	b150	150	1425	375	450			
T7	Testigo	Tes	790	105		155	155	



**Tabla 2-3:** Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila

ELEMENTO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
<b>CAMPOALEGRE</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	256,1	52,7	347,5	90,7	25,7	47,39
<b>GARZÓN</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	254,3	52,7	279,42	90,7	25,7	44,27

Las aplicaciones de los fertilizantes se realizaron según las curvas de absorción de elementos minerales por parte de la planta (Rojo, 2008), fraccionado en dos aplicaciones, siendo éstos momentos para los dos municipios 8 ddt (días después de trasplante) y 35 ddt, momentos que coincidían con la aplicación de fertilización del testigo.

### 2.3.3 Contenido de nutrientes

Se realizaron seis análisis foliares durante el desarrollo del cultivo, tres mediciones en desarrollo vegetativo y tres durante la cosecha. Los tres primeros análisis foliares se realizaron en las diferentes etapas del desarrollo cultivo, el primero en estado de desarrollo lento (24 ddt) código escala BBCH 1105 (Coresta, 2009), el segundo en estado de crecimiento rápido (44 ddt) código escala BBCH 1110 (Coresta, 2009) y el tercero en floración (74 ddt) código escala BBCH 59 (Coresta, 2009). Para todos los muestreos foliares se tomaron 300 g de materia seca por unidad experimental. Para el primer muestreo foliar se de 2-4 hojas sin peciolo planta<sup>-1</sup>. Para el segundo muestreo se tomaron hojas de la parte central de la planta, eliminando la base y el ápice. Para el tercer muestreo se tomó la hoja central de la planta, debido a que esta hoja representa el contenido nutricional, donde se eliminó la nervadura central, la base y ápice de la hoja.

El cuarto análisis se realizó al inicio de cosecha (100 ddt) tomando como unidad de muestra el tercio inferior de la planta. La quinta muestra, se realizó a los 114 ddt (mitad de la cosecha) tomando como unidad de muestra el tercio medio de la planta. El sexto análisis se realizó con el último pase de la cosecha a los 127 ddt cuya unidad de muestra será el tercio superior de la planta. Se tomó una muestra por unidad experimental

correspondiente a 20 plantas aprox., igualmente eliminando la nervadura central, la base y ápice de la hoja.

Los muestreos foliares se realizaron en las horas de la mañana, se almacenaron en bolsas de papel y en neveras de icopor, evitando la exposición directa a la radiación solar y la contaminación por posibles enfermedades fungosas del material. En laboratorio, se procedió al secado del material a 60°C durante 24 horas, para realizar posteriormente el análisis de los elementos. Los elementos evaluados en tejido vegetal fueron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y cloro (Cl).

### **2.3.4 Análisis estadístico**

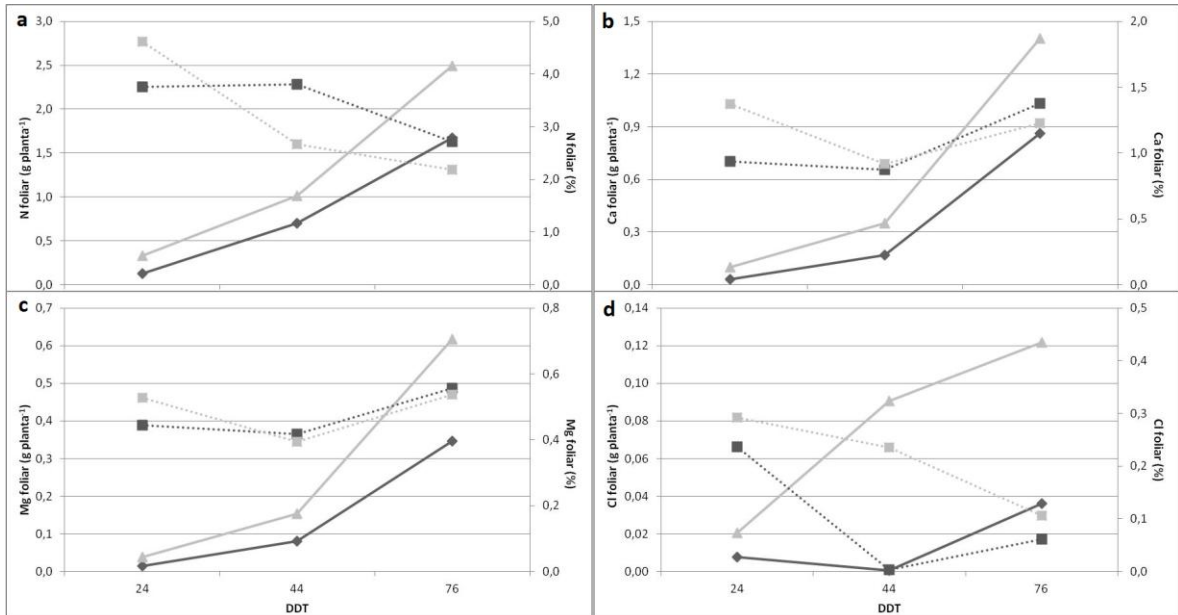
Se realizó un análisis de varianza (Anova) con el software estadístico SAS® v. 8.1e (SAS Institute Inc., Cary, NC) y cuando se presentaba significancia, se realizó prueba de comparación de medias LSD con una confiabilidad del 95%.

## **2.4 Resultados**





### **2.4.1 Desarrollo vegetativo hasta floración**

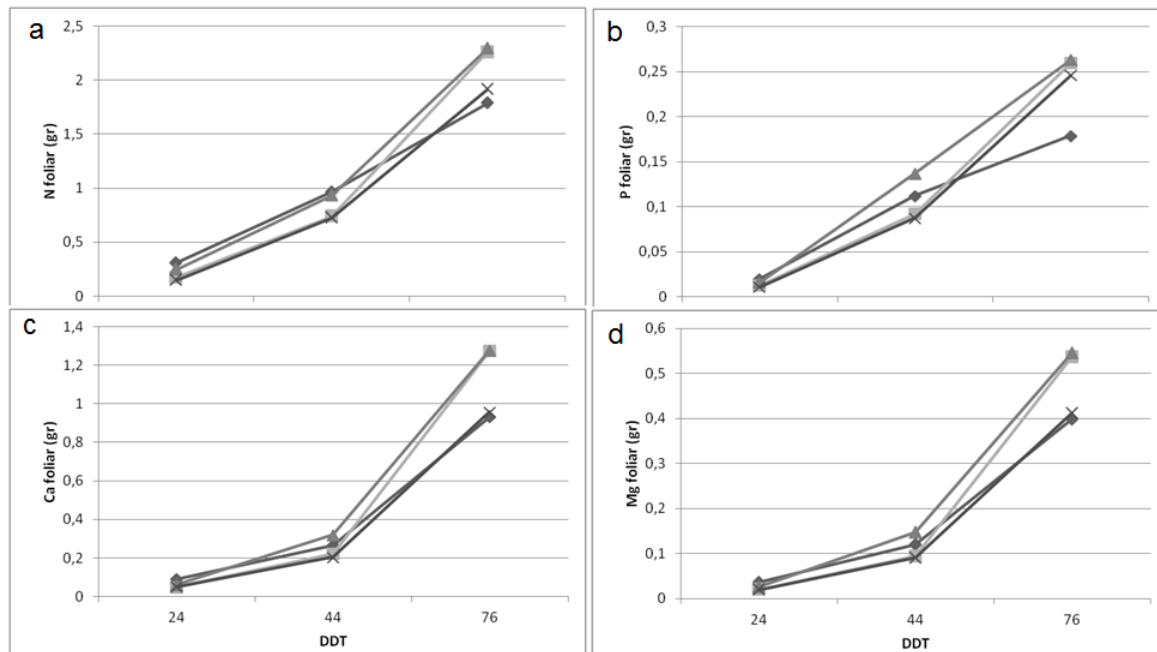
De acuerdo a los resultados de los análisis foliares realizados para esta etapa del cultivo, se encuentran diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, calcio, magnesio y cloro en la interacción tiempo-municipio ( $P < 0,001$ ). Para estos elementos, el contenido foliar aumenta progresivamente a través del tiempo, presentándose su mayor concentración en la etapa de plena floración (76 ddt). El municipio que presenta los mayores valores de N, Ca, Mg y Cl es Garzón (2,49, 1,40, 1,40 y 0,12 gr respectivamente) por ser el de mayor acumulación de materia seca foliar (**Figura 2-2**).

**Figura 2-2:** Contenido ( $\text{g planta}^{-1}$ ) y concentración (%) de nitrógeno, calcio, magnesio y cloro en hojas de tabaco durante desarrollo vegetativo hasta floración. a. Nitrógeno. b. Calcio. c. Magnesio. d. Cloro. Contenido: Campoalegre:  $\blacklozenge$ ; Garzón:  $\blacktriangle$ ; concentración: Campoalegre:  $\cdots\blacksquare\cdots$ ; Garzón:  $\cdots\blacksquare\cdots$ .



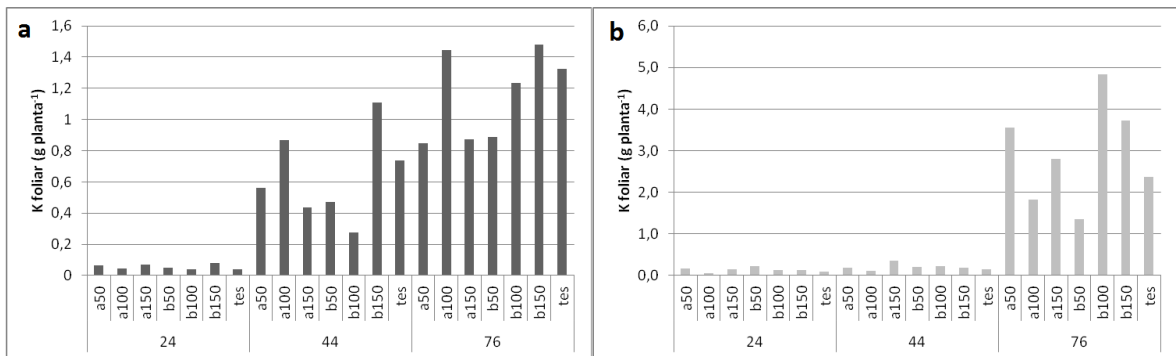
De acuerdo a la **Figura 2-2**, la secuencia de la absorción de los elementos minerales ( $\text{g}$ ) por la planta de tabaco durante esta etapa del cultivo es:  $\text{N} > \text{Ca} \geq \text{Mg} > \text{Cl}$ . Para la interacción tiempo-dosis se presentaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio ( $P < 0,01$ ). Igualmente, se puede observar un aumento progresivo en el contenido de estos elementos a través del tiempo. Las dosis de 100 y 150% de fertilización fueron las que presentaron los mayores valores, estando estos por encima de 2,25, 2,25, 1,27 y 0,53 gr para N, P, Ca y Mg respectivamente (**Figura 2-3**).

**Figura 2-3:** Contenido (g planta<sup>-1</sup>) de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en hoja de tabaco durante desarrollo vegetativo hasta floración, en los municipios de Campoalegre y Garzón. A. Nitrógeno. B. Fósforo. C. Calcio. D. Magnesio. 50%: ; 100%: ; 150%: ; Testigo: .



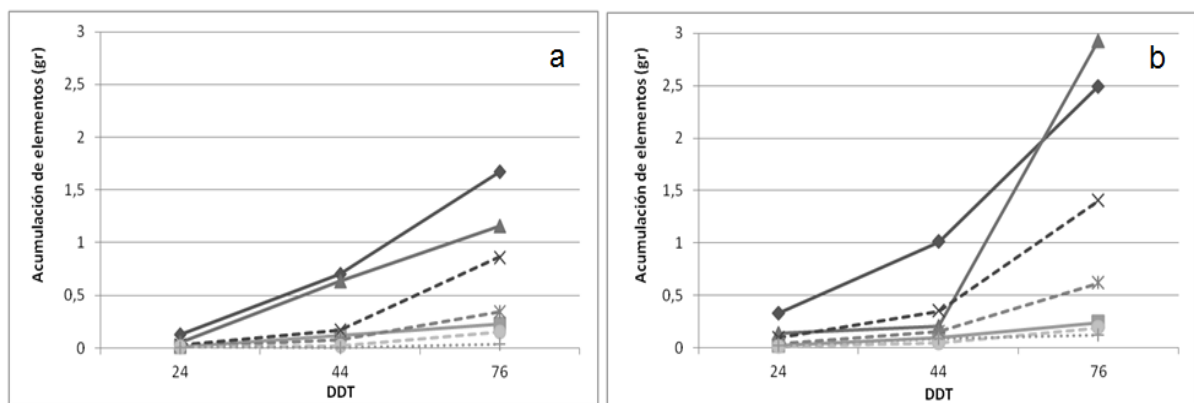
Solo el potasio presentó diferencias estadísticas para la máxima interacción, tiempo-municipio-fuentes-dosis ( $P < 0,01$ ). En Campoalegre el tratamiento que reportó el mayor contenido foliar de potasio fue la no utilización de sulfato de amonio al 150% de la dosis (1,48 gr) y en Garzón fue la misma fuente de fertilización pero al 100% de la dosis (3,73), siendo mayor el contenido de K en Garzón (**Figura 2-4**). Esto se debe a que el fertilizante utilizado como fuente de K (Solun K) presenta mayor solubilidad, lo cual permite que haya una mayor disponibilidad del elemento en el suelo y este pueda ser absorbido rápidamente por la planta.

**Figura 2-4:** Contenido de potasio en la hoja de tabaco durante desarrollo vegetativo hasta floración, en los municipios de Campoalegre (a) y Garzón (b).



La **Figura 2-5** muestra que durante todo el ciclo de desarrollo de la planta (hasta floración), donde se puede observar que los elementos que presentan mayor acumulación son nitrógeno, potasio y calcio. Para Campoalegre (**Figura 2-5a**) el elemento de mayor acumulación fue el nitrógeno y en Garzón potasio ambos en la evaluación del día 76 (floración) (**Figura 2-5b**).

**Figura 2-5:** Acumulación (g planta<sup>-1</sup>) de elementos en el cultivo de tabaco Virginia durante desarrollo vegetativo hasta floración, en los municipios de Campoalegre (A) y Garzón (B). N: —◆—; P: —■—; K: —▲—; Ca: —×—; Mg: —\*—; S: —●—; Cl: —+—+—+—.



Durante la evaluación del día 76 (etapa de plena floración), el tratamiento testigo en Campoalegre presenta los mayores porcentajes de concentración en tejido vegetal de los elementos nitrógeno y calcio, nivel intermedio de potasio y bajo contenido de cloro, y concentración óptima de N y Ca. El testigo de Garzón presenta los menores porcentajes de nitrógeno, potasio y calcio y el mayor porcentaje de cloro en tejido vegetal (**Tabla 2-4**).

Por otro lado, los tratamientos sin utilización de SAM al 100 y 150% de la dosis (b100 y b150) presentan concentraciones óptimas de K foliar para esta etapa fenológica.

**Tabla 2-4:** Concentraciones foliares (%) de los principales elementos en etapa de floración a los 76 días después de trasplante y su contenido óptimo, para el cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón.

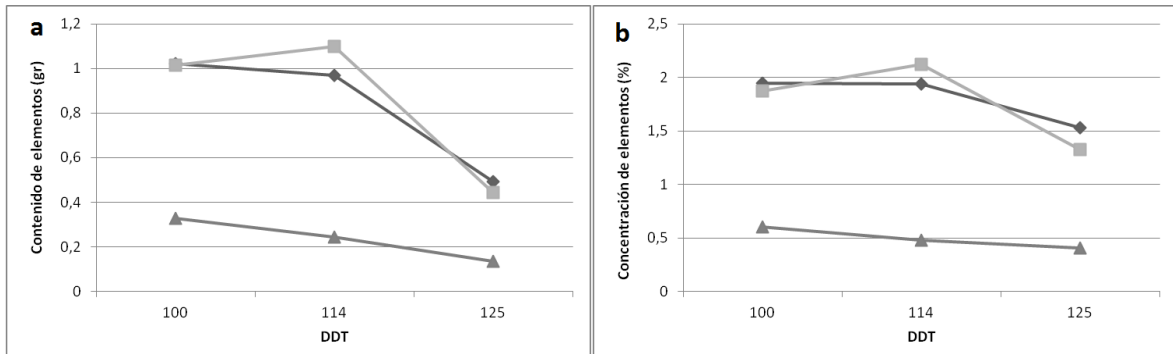
Municipio	Trat	%							
		N		K		Ca		Cl	
Contenido óptimo		2.9 - 3.9		2.5 – 3.3		1.5 – 2.5		0.4 – 0.75	
Campoalegre	a50	2.650	ab	1.677	d	1.343	abc	0.063	bc
	a100	2.663	ab	1.997	dc	1.323	abc	0.050	c
	a150	2.693	ab	1.647	d	1.270	abc	0.060	bc
	b50	2.810	a	2.127	bcd	1.337	abc	0.070	bc
	b100	2.687	ab	1.800	d	1.393	ab	0.067	bc
	b150	2.693	ab	1.963	dc	1.447	ab	0.057	bc
	Tes	<b>2.857</b>	a	2.087	bcd	<b>1.520</b>	a	0.060	bc
Garzón	a50	2.187	c	3.493	a	1.297	abc	0.103	ab
	a100	2.160	c	2.320	abcd	1.247	bc	0.093	abc
	a150	2.380	bc	2.057	bcd	1.313	abc	0.087	abc
	b50	2.317	c	1.307	d	1.100	dc	0.123	a
	b100	2.173	c	<b>3.367</b>	ab	1.333	abc	0.103	ab
	b150	2.313	c	<b>3.193</b>	abc	1.443	ab	0.103	ab
	Tes	1.783	d	1.927	dc	0.840	d	0.130	a

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM, Tes: testigo

## 2.4.2 Cosecha

En los análisis foliares realizados durante la cosecha del cultivo de tabaco, se encontraron diferencias significativas en el contenido de potasio, magnesio y calcio a través del tiempo ( $P < 0,001$ ). Para estos elementos, el contenido foliar disminuye a través del tiempo de cosecha, presentándose su menor contenido en el tercio superior de la planta el cual corresponde a los 125 días después de trasplante (**Figura 2-6**).

**Figura 2-6:** Contenido ( $\text{g planta}^{-1}$ ) (a) y concentración (%) (b) de potasio, calcio y magnesio durante la cosecha en los municipios de Campoalegre y Garzón. Tercio inferior: 100 ddt; Tercio medio: 114 ddt; Tercio superior: 125 ddt. K:  $\blacklozenge$ ; Mg:  $\blacksquare$ ; Ca:  $\blacktriangle$ .



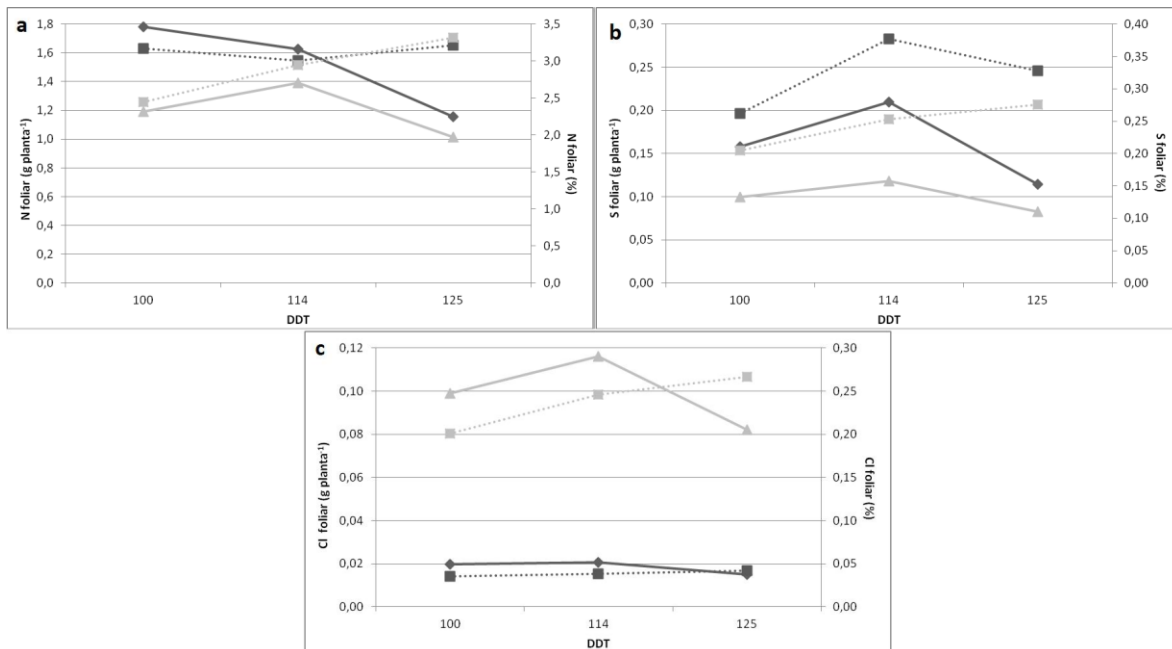
Para nitrógeno, azufre y cloro se presentan diferencias estadísticas en la interacción tiempo-municipio ( $P < 0,05$ ). El municipio de Campoalegre presenta mayores valores de N y S durante la cosecha, debido a que presentó mayor acumulación de materia seca con respecto a Garzón (**Figura 2-7 a y b**). Para el cloro, el mayor contenido se encuentra en el municipio de Garzón, debido a que se presenta mayor concentración del elemento en las hojas (**Figura 2-7c**). Para los tres elementos se puede observar que hay una disminución en el contenido para la última fecha de muestreo (125 ddt) la cual corresponde al tercio superior de la planta.

## 2.5 Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación en cuanto a la acumulación de elementos a través del tiempo en tabaco Virginia coinciden con investigaciones previas. Chavarría (2007) reporta para tabaco la mayor acumulación de nutrientes en la etapa de cosecha (48-78 DDT), debido que hay una alta tasa de acumulación de materia seca durante esta etapa. El tabaco Virginia presenta un periodo de rápido acumulación de materia seca que coincide con la etapa de crecimiento rápido y expansión foliar la cual se encuentra entre los 41 y 75 días después del trasplante) (Miner y Tucker, 1990; Moustakasa y Ntzanis, 2005). Para nitrógeno y potasio se reporta un rápido cambio en la absorción entre los 41 y 68 ddt donde la planta entera ha tomado el 85% de nitrógeno total y el 81% de potasio, con una absorción máxima a las 55 ddt para N y a los 61 ddt para K (Moustakasa y

Ntzanis, 2005). Miller *et al.*, (1967) reportan que la absorción de nitrógeno es mínima en el último mes. De otro lado, fósforo, calcio y magnesio presentan un rápido cambio en la absorción entre los 41 y 75 ddt, momento en la cual la planta entera ha tomado el 96% del fósforo total, 90% de calcio y 89% de magnesio, con una absorción máxima a las 55 ddt para P y a los 61 ddt para Ca y Mg (Moustakas y Ntzanis, 2005). Para el momento de floración, más del 90% del N y K ha sido acumulado y entre 70 a 80% de Ca, Mg y P (Miner y Tucker, 1990).

**Figura 2-7:** Contenido ( $\text{g planta}^{-1}$ ) y concentración (%) de nitrógeno, azufre y cloro en hojas de tabaco durante la cosecha. Tercio inferior: 100 ddt; Tercio medio: 114 ddt; Tercio superior: 125 ddt.. a. Nitrógeno. b. Azufre. c. Cloro. Contenido: Campoalegre:  $\blacklozenge$ ; Garzón:  $\blacktriangle$ ; concentración: Campoalegre:  $\blacksquare$ ; Garzón:  $\blacktriangleright$ .



Nitrógeno, calcio y magnesio presenta un incremento en las concentraciones foliares a través del tiempo, y el municipio que muestra los mayores valores es Garzón. El análisis foliar sirve como indicador de la fertilidad de un suelo, y la concentración de un nutriente en la planta, es un valor que integra factores que afectan el crecimiento, siendo los principales: suelo, condiciones climáticas, manejo y fundamentalmente la disponibilidad de ese nutriente en el suelo (Barbazán, 1998). El suelo de la finca de Garzón presenta



mayores contenidos y disponibilidad de N total ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ ), carbono orgánico, calcio y magnesio, con respecto a Campoalegre (**Tabla 2-1**). Por otro lado, Garzón tiene menor radiación solar, menor temperatura promedio, mayor humedad relativa y mayor precipitación (**Figura 2-1**).

Las respuestas de la planta a la aplicación de nutrientes puede verse influenciada por el régimen de agua. La sequía o la inundación pueden reducir la absorción de nutrientes por las plantas y/o su capacidad para utilizar los nutrientes para el crecimiento (Gusewell *et al.*, 2003). Bajo contenido hídrico en el suelo puede afectar la absorción de nutrientes por menor disponibilidad de estos o por menor crecimiento de raíces. Cuando la disponibilidad de nutrientes es alta y la radiación baja, se puede reducir la absorción de nutrientes, debido a que se reduce el crecimiento y por lo tanto la demanda de nutrientes. Por el contrario, cuando la disponibilidad de nutrientes es baja, la radiación no tiene efectos de gran importancia sobre la absorción de nutrientes, sino que es la misma escasez de nutrientes quien limita la absorción. Temperaturas bajas disminuyen la velocidad de absorción de agua y soluciones nutritivas por las raíces, disminuyendo la velocidad de translocación interna de las soluciones absorbidas. Igualmente, se reduce la asimilación de sustancias nitrogenadas, baja la asimilación del K, y en menor medida la del P (Clarkson, 1985; Marschner, 1995; Ballari, 2005; Lambers *et al.*, 2008). La absorción de N se ve influenciada fuertemente por la disponibilidad de agua en el suelo donde a mayor irrigación mayor toma de N por la planta (Al-Kaisi y Yin, 2003).

En cuanto a las dosis de aplicación, se observa que N, P, K, Ca y Mg presentan las mayores concentraciones en etapa de floración con las dosis de fertilización más altas (100 y 150%). Resultados similares se encontraron en haya común (*Fagus sylvatica*), donde a mayor fertilidad mayor concentración de N, P y K en las hojas (Minotta y Pinzauti, 1996). En romero (*Rosmarinus officinalis*), mayor concentración de elementos en las hojas cuando hay una fertilización balanceada (Sardans *et al.*, 2005). Jose *et al.* (2003), reportan que aplicaciones altas de nitrógeno en *Pinus palustris* incrementan el N foliar, disminuye el K foliar, pero no afecta la concentración de los otros elementos. En *Eucalyptus grandis*, las concentraciones de N son generalmente más altas cuando hay fertilización con P, independiente del tipo de suelo (Graciano *et al.*, 2006). En *Lablab purpureus*, dosis altas de fósforo aumentan el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio foliar (Naeem *et al.*, 2010). En tabaco, deficiencias de fósforo, además de retrasar

la maduración, provocan una reducción del nitrógeno y magnesio foliar (McEvoy, 1951, citado por Rojo, 2008). El aumento de las concentraciones de otros nutrientes con niveles crecientes de fósforo probablemente se puede atribuir al efecto beneficioso de fósforo en el crecimiento general de la planta debido a la nutrición equilibrada de las plantas (Graciano *et al.*, 2006; Naeem *et al.*, 2010).

En tabaco, el aumento de las dosis de fertilización nitrogenada, aumenta la concentración de N total (Kowalczyk-Juško y Kościk, 2002). Reportes similares se han encontrado en lechuga (Fontes *et al.*, 1997), maíz (Vos *et al.*, 2005), papa (Vos y van der Putten, 1998) y arroz (Wang *et al.*, 2006). En plantas de té se reporta un aumento en el contenido de P foliar con el aumento en la dosis de aplicación (Lin *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2012). Altas concentraciones de Ca en la solución nutritiva aumentaron el contenido foliar de Ca en *Eustoma grandiflorum* (Islam *et al.*, 2004).

Para potasio, el tratamiento que muestra la mayor acumulación en tabaco fue la no utilización de SAM al 150% de la dosis de fertilización en el municipio de Campoalegre, contrario a lo encontrado para los elementos N, P, Ca y Mg. Resultados similares se han encontrado en algodón, donde el contenido de K foliar se ve afectado por los niveles de fertilización potásica (Reddy y Zhao, 2005; Xu *et al.*, 2011), a mayor dosis de K mayor concentración de K foliar (Bednarz *et al.*, 1998; Gerardeaux *et al.*, 2010). Igualmente, aplicación de fertilizantes K incrementaron significativamente las concentraciones de K en brotes y raíces de dos cultivares de trigo (Zhao *et al.*, 2003) y en hojas en frijol (O'Toole *et al.*, 1980). En *Houttuynia cordata*, la concentración máxima se registró en el tratamiento con nivel intermedio de K, mientras que los mayores suministros de potasio mostraron una disminución de la absorción en comparación con niveles intermedios (Xu *et al.*, 2011).

En esta investigación los elementos de mayor acumulación fueron nitrógeno, potasio y calcio; sin embargo, existen diferencias en el orden de importancia de los elementos minerales para el cultivo de tabaco Virginia. McCants y Woltz (1967) reportan que el tabaco estufado absorbe más cantidades de K que de N. Miner y Tucker (1990) describen que el potasio es el elemento más importante, seguido de calcio, nitrógeno, magnesio y fósforo. Collins y Hawks (1994) difieren en el segundo y tercero, donde

nitrógeno es más importante para el cultivo de tabaco. Para Moustakasa y Ntzanis (2005) el calcio es el tercer elemento en orden de importancia para el cultivo de tabaco. Chavarría (2007) reporta que el K es el de mayor acumulación, seguido por el N y en menor proporción Ca. Sin embargo se puede afirmar que N, K y Ca son los elementos más importantes para la producción y calidad del tabaco Virginia al tener implicaciones en cualidades como aroma, color, textura, contenido de azúcares y nicotina, combustibilidad y sabor del humo (Smith, 2004; Ballari, 2005; Lu *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Gurumurthy y Vageesh, 2007; Yang, *et al.*, 2007; Marambe y Sangakkara, 2008).

Los valores medio de nitrógeno, potasio para todos los tratamientos en etapa de floración, se encuentran por debajo del rango normal recomendado por Campbell (2000) y Ballari (2005). A excepción de los tratamientos en Garzón sin utilización de sulfato de amonio al 100 y 150% de la dosis (b100 y b150 respectivamente) que se encuentran dentro del rango según Ballari (2005) y la utilización de SAM al 50% (a50) (Campbell, 2000; Ballari, 2005). De acuerdo a los rangos reportados por Rojo (2008) el testigo de Campoalegre se encuentra por encima del rango normal de N y el de Garzón por debajo. El contenido de calcio foliar presenta contenidos normales según Campbell (2000), sin embargo, para Ballari (2005) y Rojo (2008) todos los contenidos de Ca están por debajo del rango a excepción del testigo en Campoalegre. Todos los tratamientos presentan contenidos de cloro por debajo de los rangos recomendados (Ballari, 2005). La concentración óptima de K y N se sugiere en un rango de entre 2,5% - 3,0% en las hojas de tabaco para el crecimiento adecuado de las plantas y la química equilibrada en la hoja (Krishnamurthy y Ramakerishnayya, 1994 citado por Zou *et al.*, 2005).

En época de cosecha, los contenidos de K, Mg y Ca disminuyen a través del tiempo. Esto se debe a que hay una mayor acumulación de materia seca, lo cual produce una disminución en el contenido de los nutrientes por un efecto de dilución (Miner y Tucker, 1990). Debido a que la diferencia entre la velocidad de crecimiento de la planta y la de absorción de un nutriente puede producir acumulación o dilución del nutriente dentro de una planta (Barbazán, 1998). Resultados similares son reportados por Jiang *et al.* (2001) y Zhengxiong *et al.* (2010), los cuales encontraron que la concentración de K en casi todos los órganos de la planta de tabaco se reduce desde el momento en que el ápice del brote se retira hasta el final de la cosecha. El contenido de Mg en las hojas va

disminuyendo según la posición, las hojas bajas presentan mayor contenido de Mg, mientras las superiores presentan menor contenido (Miner y Tucker, 1990).

En la producción de tabaco, el ápice de las plantas es removido para obtener mayor rendimiento de la hoja y alta calidad, para la presente investigación ésta práctica se realizó a los 86 ddt. Sin embargo, en términos fisiológicos esta actividad puede causar cambios en las relaciones fuente-vertedero, que se traducirá en cambios en la distribución y la translocación de asimilados y nutrientes minerales (Jiang *et al.*, 2001). Zhengxiong *et al.* (2010) exponen tres posibles razones por las cuales se presenta esta disminución en el contenido de K en toda la planta y particularmente en las hojas. Primero, se debe a una dilución del contenido ya que la materia seca se acumula a un ritmo mayor que el elemento; resultados similares fueron reportados por Cao *et al.* (1991) y Moustakas y Ntzanis (2005). Segundo, cuando las hojas maduran las salidas de K exceden la absorción, causando que el contenido de K en las plantas disminuya. Y tercero, retranslocación y redistribución de K como resultado de la escisión del ápice y la senescencia de las hojas (Zhengxiong *et al.*, 2010). Esta última se da porque el potasio es altamente móvil por el floema, y por lo tanto un alto grado de reutilización por retranslocación vía floema (Marschner, 1995).





# **3. Rendimiento y calidad de la hoja curada de tabaco Virginia bajo diferentes planes de fertilización en Campoalegre y Garzón, Huila**

## **3.1 Resumen**

En el momento de establecer potenciales de producción en tabaco, hay que diferenciar entre producción máxima y producción óptima, lo cual se logra con una fertilización correcta, equilibrada y oportuna, debido a que proporciona altos rendimientos, tabaco fino, aromático y de buena combustibilidad. El objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento y la calidad del tabaco bajo diferentes dosis y fuentes de fertilización en dos municipios del departamento del Huila. Se evaluaron siete tratamientos correspondientes a seis alternativas de fertilización (tres dosis y dos alternativas de fuentes de aplicación) y un testigo comercial. Cuando las hojas alcanzaban la madurez de recolección, se cosecharon y se curaron en hornos alimentados por carbón, posteriormente se clasificaron y pesaron para obtener el rendimiento y la calidad por tratamiento. Para este trabajo se puede concluir la aplicación de diferentes dosis y fuentes de fertilización tienen efecto principalmente en la calidad, debido a que el rendimiento no presentó diferencias. Las calidades primeras y segundas, presentaron diferencias en la interacción municipio-dosis, para la tercera calidad, se presentaron diferencias solo para municipio. El principal factor que afectó los parámetros físicos de calidad fue el municipio de evaluación. En los parámetros químicos, el contenido de nicotina presentó diferencias para las hojas superiores y bajas, con mayor contenido de nicotina a las dosis más altas de fertilización. El contenido de azúcar se vio afectado principalmente por el factor municipio en los pisos foliares bajos y media mata, y en la sumatoria de las calidades primeras y segundas.

## 3.2 Introducción

Alrededor del mundo se cultivan aproximadamente 3,9 millones de hectáreas de tabaco distribuidas en 120 países, a destacar China, Brasil e India los cuales participan con más del 65% del área cultivada. Cerca del 60% se cosechan en tabaco Virginia, seguido por los tabacos Burley y Oriental con 13% y 12% respectivamente, los tabacos oscuros 6% y otros 9% (Rojo, 2008). Para el 2006 la producción mundial de tabaco en rama fue de 6'615.424 toneladas, donde China participa con el 42% de la producción, seguido por Brasil con 14% y en tercer lugar India con 8%, Colombia para este año se encontró en el puesto 25 con una participación de 0,53% y una producción de 35.000 toneladas de tabaco (Faostat, 2009). Para este año el rendimiento promedio de la producción de tabaco en Colombia fue de 1.947 kg ha<sup>-1</sup>, donde los departamentos de mayor producción son Santander y Huila con un rendimiento promedio de 1.862 y 2.468 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (MADR y CCI, 2009).

La producción de tabaco Virginia en Colombia para el 2008 fue de 14,5 ton, con un rendimiento promedio de 1.830 kg ha<sup>-1</sup>, los principales departamentos tabacaleros fueron Santander con 56% de la producción, Huila con 24%, 7% en Norte de Santander, 8% en Boyacá y el porcentaje restante en Caldas, Cesar, Tolima y Valle del Cauca (MADR y CCI, 2009). Huila en la primera cosecha del 2008 presento un rendimiento promedio de 2.346 kg ha<sup>-1</sup>, y los municipios de Campoalegre y Garzón tuvieron en promedio un rendimiento de 2.658 kg ha<sup>-1</sup> (Plaza *et al.*, 2011a), siendo estos los más importantes en la producción de tabaco.

El rendimiento en los cultivos está en función de muchos factores como el material de siembra, suelos, fertilización, clima, sanidad, manejo agronómico, que de una u otra manera afectan el crecimiento y desarrollo de los mismos (Montoya *et al.*, 2005). En el momento de establecer potenciales de producción en tabaco, hay que diferenciar entre producción máxima (mayor rendimiento esperado en términos cuantitativos) y producción óptima, que adicionalmente integra aspectos cualitativos y representa la mejor cosecha posible en cantidad y calidad. Una fertilización correcta, equilibrada y oportuna proporciona altos rendimientos, un tabaco fino, aromático y de buena combustibilidad (Ballari, 2005). El manejo balanceado de los nutrientes implica varios aspectos, como la



aplicación de los elementos esenciales para su crecimiento, teniendo en cuenta las condiciones edáficas que influyan en su disponibilidad, momento, fuentes y dosis adecuadas de acuerdo a las necesidades del cultivo (Ballari, 2005; Rojo, 2008).

La rentabilidad del negocio tabacalero proviene de la producción (alto rendimiento) y del precio percibido por el productor (alta calidad). La calidad de las hojas luego del proceso de curado es el principal determinante del precio, está determinada por la aceptación de la industria manufacturera de un producto que se adapta perfectamente a sus necesidades, labores de tabaco, en correspondencia al gusto de los consumidores y en atención a los nuevos requerimientos de salud, que condicionan la composición química del humo de tabaco. Sin embargo, hay determinadas exigencias básicas para poder fijar la calidad y utilización de la hoja de tabaco, teniendo en cuenta una serie de propiedades físicas y químicas y los efectos de estas propiedades en el fumado (ANETAB, 2001). La calidad del tabaco está determinada por el contenido de azúcar y nicotina en las hojas y la relación azúcar/nicotina (Elliot y Back, 1963; Redonet *et al.*, 2004; Smith, 2004; Lu *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2007), donde los valores adecuados para esta relación están entre 4 y 8, siendo alrededor de 6 el valor óptimo (Fisher y Smith, 2009; Protabaco, 2010). Por ello, el plan de fertilización debe ser balanceado, permitiendo encontrar la combinación de nutrientes que permita mejorar la proporción de hojas superiores dentro del lote cosechado (Chouteau y Fauconier, 1993; Smith, 2004; Guardo, 2006; Lazcano-Ferrat, 2006; Su *et al.*, 2006).

Muchos compuestos bioquímicos de la hoja (nicotina, azúcares), la composición mineral (nitrógeno total) y parámetros físicas (contenido de humedad, tamaño, relación vena/lámina) son características utilizadas para calificar la calidad de tabaco. Estas características son influenciadas por el genotipo, prácticas agrícolas, nutrición y tipo de suelo, riego, condiciones ambientales, enfermedades de plantas, posición en el tallo, cosecha y curado (Sifola y Postiglione, 2003). Un cambio en alguno de esos factores pueden alterar marcadamente la composición química y propiedades físicas de la hoja de tabaco y sus afecciones en la calidad de la fumada (Karaivazoglou *et al.*, 2006).

El nitrógeno es el elemento que tiene un mayor efecto en el crecimiento y calidad de tabaco Virginia (Collins y Hawks, 1994; Xi, *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Ju, *et al.*, 2008; Parker, 2009; Smith, 2009), y está directamente relacionado con las cualidades de

aroma y gusto, y el sabor del humo (Smith, 2004; Lu *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Marambe y Sangakkara, 2008). El fósforo mejora el color de la hoja del tabaco, acelera el crecimiento, madurez y mejora la calidad del tabaco. El contenido de P en la hoja es positivamente relacionado para el contenido de azúcar, parámetro de calidad en las hojas de tabaco (Crafts-Brandner *et al.*, 1990; Smith, 2004; Ballari, 2005; Whitey *et al.*, 1966, citado por Rojo, 2008).

El potasio es uno de los principales elementos minerales necesario para el crecimiento y desarrollo de tabaco. El contenido de K en la hoja de tabaco está altamente relacionado con el color de la hoja, textura, contenido de azúcares, nicotina y combustibilidad (Ballari, 2005; Gurumurthy y Vageesh, 2007; Yang, *et al.*, 2007). El K es un importante indicador de la calidad de la hoja de tabaco, hoja producida con alto K ( $>25 \text{ g kg}^{-1}$ ) es suave y dóelgada con mejor capacidad de quemado, comparado con plantas producidas con baja aplicación de K (Miner y Tucker, 1990; Gurumurthy y Vageesh, 2007). El magnesio mejora la combustibilidad y la apariencia (color y textura) de las cenizas, dando lugar a una ceniza porosa, suelta y de color claro que mejora la combustión, cuando el contenido en hoja incrementa hasta 2%. La deficiencia de magnesio disminuye la calidad de la hoja, produciendo hojas curadas oscuras con coloración irregular además de reducción en el contenido de azúcar y almidón, así como un incremento indeseado en el contenido de cenizas (Pinkerton, 1972; Smith, 2004; Rojo, 2008).

López-Lefebre *et al.* (2001) reportan que el calcio es el elemento mineral de mayor demanda en cantidad por la planta de tabaco después del potasio, y el contenido de este elemento en la hoja curada puede estar entre el 1,5 y 2%. Mientras que Moustakas y Ntzanis (2005) señalan que el segundo elemento de mayor extracción es el nitrógeno. Sin embargo, de lo que no queda duda es que el Potasio, Nitrógeno y Calcio son los tres elementos más demandados por la planta de tabaco (Rojo, 2008). El exceso de azufre afecta la combustibilidad del tabaco y existen evidencias, de que puede disminuir el índice de alcalinidad de las cenizas (Smith, 2004; Rojo, 2008). Igualmente, un exceso de azufre con niveles superiores al 1% en hoja, puede afectar el aroma, característica fundamental en el tabaco Virginia ya que es usado como aromatizante y saborizante en las mezclas de cigarrillos (Rojo, 2008).

Para maximizar los beneficios, los agricultores se esfuerzan por obtener un rendimiento moderado, de calidad superior de las hojas de tabaco. Rendimiento y calidad del tabaco Virginia se ven muy afectados por la fertilización y, principalmente, por el nitrógeno (N) y potasio (K). Las recomendaciones de fertilización para el cultivo de tabaco Virginia en Colombia son generalmente uniformes para grandes regiones (Plaza *et al.*, 2011a). Esto se traduce en un exceso de aplicación en áreas con altos niveles de nutrientes y deficiencia de aplicación en áreas con bajos niveles de nutrientes. El objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento y la calidad del tabaco bajo diferentes dosis y fuentes de fertilización en dos municipios del departamento del Huila.

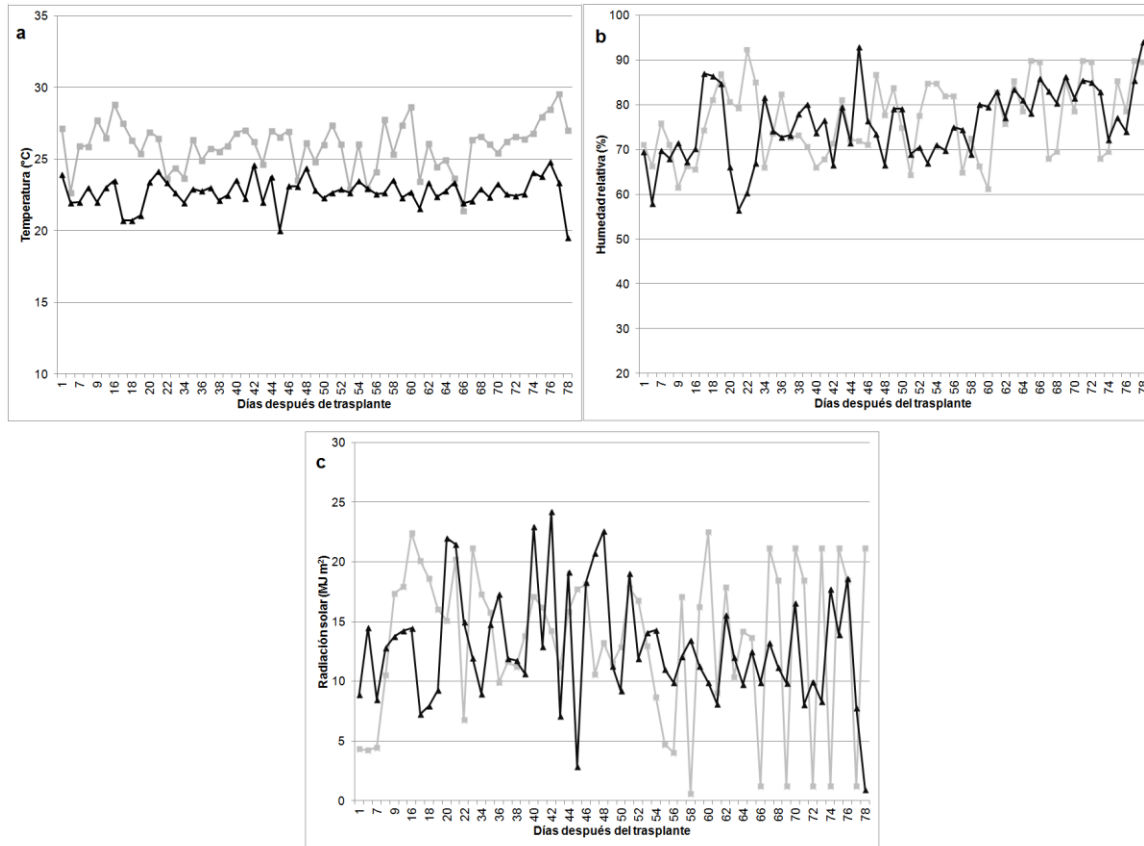
### 3.3 Materiales y métodos

#### 3.3.1 Ubicación

El trabajo se realizó en el 2010, en dos fincas tabacaleras ubicadas del departamento del Huila (Colombia) en los municipios de Campoalegre ubicado a 525 msnm, temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 68% y radiación solar promedio de 32 MJ m<sup>-2</sup>, y el municipio de Garzón ubicado a 790 msnm, temperatura promedio de 25°C, humedad relativa de 74% y radiación solar promedio de 28 MJ m<sup>-2</sup> (**Figura 3-1**). Presentan suelos franco arenosos y pH ligeramente y moderadamente ácido respectivamente, contenidos de P, K, Mg, S y Cl no adecuados para el cultivo, textura, pH y porcentaje de N ideal (**Tabla 3-1**).

El material utilizado fue tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) Virginia variedad NC297, se realizó semillero y cuando las plantas tenían 5 hojas verdaderas se trasplanto con densidad de siembra de 20.833 plantas ha<sup>-1</sup>, distribuidas en surcos de 1,2 m de ancho y 0,4 m entre plantas, el manejo ejecutado en el cultivo fue de acuerdo a las prácticas de producción de cada zona de estudio.

**Figura 3-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). ■ Campoalegre y ▲ Garzón.



**Tabla 3-1:** Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón

CAMPOALEGRE												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
6,3	3,49	4,51	8	5,52	0,19	1,54	0,08	0,00	7,33	44,1	5,52	0,74
GARZÓN												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
5,6	7,86	6,55	14,41	10,3	0,44	3,24	0,08	0,00	14,1	53,5	9,94	0,34

### 3.3.2 Diseño experimental y tratamientos

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3 x 2. Se utilizaron siete tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, los cuales correspondieron a seis alternativas de fertilización y un testigo comercial. El testigo correspondió al manejo actual recomendado por la empresa Protabaco (Plaza *et al.*, 2011a) y el utilizado por el productor. Las alternativas correspondieron a la combinación de tres dosis de fertilización y dos grupos de fuentes de aplicación (**Tabla 3-2**), manteniendo para el caso de las formas de N una proporción 50:50 de  $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ . Para la dosis se tuvo en cuenta la recomendación de fertilidad de acuerdo al análisis de suelos (**Tabla 3-1**) según la metodología del ICA (1992) y Gómez, (2005), la cual corresponde al 100% (**Tabla 3-3**), 50% recomendación y 150% recomendación. Para realizar la recomendación de la cantidad de fertilizante que se aplicó los niveles de extracción para cada uno de los elementos minerales reportados por Ballari (2005) y una producción esperada de  $3.200 \text{ Kg ha}^{-1}$ .

Los fertilizantes usados fueron:

17-9-18-3®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K:Mg:S igual a 17:9:18:3:6 (relación N- $\text{NH}_4$ :N- $\text{NO}_3$  = 60:40; fuente de K como sulfato de K).

SolunK®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K igual a 13:3:43 (relación N- $\text{NH}_4$ :N- $\text{NO}_3$  = 5:95).

Nitromag®, Yara, contiene los siguientes elementos en la proporción de N:Ca:Mg igual a 21:11:7,5 (relación N- $\text{NH}_4$ :N- $\text{NO}_3$  = 50:50).

SAM®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:S igual a 21:24 (relación N- $\text{NH}_4$ :N- $\text{NO}_3$  = 100:0).

Sulfato K®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de K:S igual a 50:17.

DAP®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P igual a 18:46 (relación N- $\text{NH}_4$ :N- $\text{NO}_3$  = 100:0).

**Tabla 3-2:** Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado (Kg ha<sup>-1</sup>).

PRODUCTOS (Kg ha <sup>-1</sup> )								
Trat	ID	Dosis	17-9-18-3	SolunK	Nitromag	SAM	Sulfato K	DAP
<b>CAMPOALEGRE</b>								
T1	a50	50	275	288	175	50		
T2	a100	100	550	575	350	100		
T3	a150	150	825	863	525	150		
T4	b50	50	550	163	75			
T5	b100	100	1100	325	150			
T6	b150	150	1650	488	225			
T7	Testigo	Tes	750	50		50	100	50
<b>GARZÓN</b>								
T1	a50	50	250	288	63	25		
T2	a100	100	500	575	125	50		
T3	a150	150	750	863	188	75		
T4	b50	50	475	125	150			
T5	b100	100	950	250	300			
T6	b150	150	1425	375	450			
T7	Testigo	Tes	790	105		155	155	

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

**Tabla 3-3:** Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila

ELEMENTO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
<b>CAMPOALEGRE</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	256,1	52,7	347,5	90,7	25,7	47,39
<b>GARZÓN</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	254,3	52,7	279,42	90,7	25,7	44,27

Las aplicaciones de los fertilizantes se realizaron según las curvas de absorción de elementos minerales por parte de la planta (Rojo, 2008), fraccionado en dos aplicaciones, siendo éstos momentos para los dos municipios 8 ddt (días después de trasplante) y 35 ddt, momentos que coincidían con la aplicación de fertilización del testigo.

### 3.3.3 Rendimiento y calidad

Cuando las hojas alcanzaban la madurez de recolección, se cosecharon y se curaron en hornos alimentados por carbón. Después se clasificaron las hojas curadas teniendo en cuenta los parámetros de calidad física tales como piso foliar (bajeras-B, media mata-M, superior-S y corona-C) grado de maduración de la hoja, color (limón-L, naranja-N, rojo castaño-RC, verde-SG) sanidad, cuerpo o grosor de la lámina foliar, tamaño (largo), elasticidad, brillo y aroma, los cuales se reúnen en cuatro calidades (primera-1, segunda-2, tercera-3 y otras) (**Tabla 3-4**), estos parámetros fueron evaluados de manera subjetiva por expertos de la empresa Protabaco. Posteriormente, se pesaron las hojas por calidades: primeras (B1L+M1L+S1L), segundas (B2L+M2L+S2L), terceras (B3L+M3L) y otras (calidades restantes), y para el rendimiento total se sumaron todas las calidades. Debido a que la producción de calidad primera fue muy baja, se sumaron las primeras y segundas y se analizaron como una sola.

Los restantes parámetros físicos como peso de la hoja (lámina, vena y total), porcentaje de vena y lámina, ancho y largo, se evaluaron en el laboratorio de calidad de la planta procesadora de la empresa en el municipio de San Gil, Santander. Para la calidad química de la hoja curada se evaluó el contenido de nicotina y azúcares, los cuales fueron medidos usando los métodos recomendados por CORESTA No. 20 (CORESTA, 1968) y No. 37 (CORESTA, 2010), respectivamente, de acuerdo a información suministrada por la empresa Protabaco (2010). Estas determinaciones también se realizaron en los laboratorios de la empresa.

### 3.3.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (Anova) con el software estadístico SAS® v. 8.1e (SAS Institute Inc., Cary, NC) y cuando se presentaba significancia, se realizó prueba de comparación de medias LSD con una confiabilidad del 95%.

**Tabla 3-4:** Criterios del clasificador o comprador para asignar los grados a las hojas curadas de tabaco Virginia

Grado*	Piso foliar	Grado madurez	Color	% de daño lámina	Uniformidad	Tamaño (cm)	Clasificación
B1L	Parte baja de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 5%	Mínimo 95%	Mínimo 50	Primeras
B2L	Parte baja de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
B3L	Parte baja de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
M1L	Parte media de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 5%	Mínimo 95%	Mínimo 50	Primeras
M2L	Parte media de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
M3L	Parte media de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
BMG	Parte baja y media de la planta	Mezclada	Limón, naranja u oscuro	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Otras
BR	Parte baja y media de la planta	Maduro y/o ligeramente sobremaduro	Oscuros	Menos de 25%	Mínimo 90%	Mínimo 30	Otras
S1L	Parte superior de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 5%	Mínimo 95%	Mínimo 50	Primeras
S2L	Parte superior de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
S3L	Parte superior de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
C2L	Hojas corona	Ligeramente maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
C3L	Hojas corona	Ligeramente maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
SR	Parte superior de la planta	Maduro y/o ligeramente sobremaduro	Oscuros	Menos de 25%	Mínimo 90%	Mínimo 30	Otras
K4	Hojas de cualquier posición	Maduro o sobremaduro	Naranja oscuro	Menos de 30%	Mínimo 70%	Mínimo 30	Otras

\*Solo se incluye la descripción de los grados que se obtuvieron en el desarrollo del trabajo



## 3.4 Resultados

### 3.4.1 Rendimiento

El rendimiento no presentó diferencias estadísticas entre los factores evaluados ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, el municipio de Campoalegre presentó mayor rendimiento de hojas curadas de tabaco ( $3.080 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con respecto a Garzón ( $2.640 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Los mejores resultados en el municipio de Campoalegre se alcanzaron con la no utilización de sulfato de amonio a las tres dosis de aplicación (b50, b100 y b150), siendo el tratamiento con la dosis más baja el que presentó mayor rendimiento ( $3.540 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (**Tabla 3-5**). En Garzón los tratamientos que reportaron mayores rendimientos fueron la utilización de sulfato de amonio al 100% de la dosis (a100), no aplicación de SAM al 100% de la dosis (b100) y testigo (fertilización realizada por el productor), donde el mayor rendimiento se presentó en el tratamiento b100 con un valor de  $2.914 \text{ kg ha}^{-1}$  (**Tabla 3-5**).

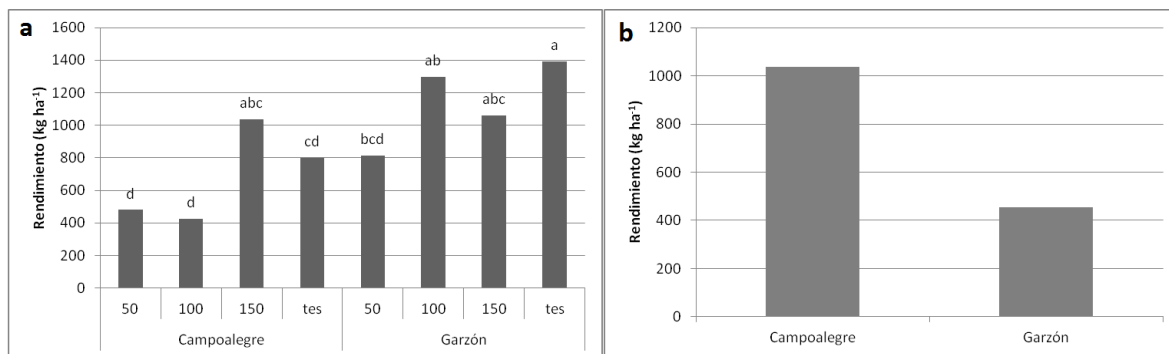
**Tabla 3-5:** Rendimiento del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón.

Tratamiento	Rendimiento			
	Campoalegre		Garzón	
a50	2.714	a	2.665	a
a100	3.292	a	2.873	a
a150	2.687	a	2.585	a
b50	3.540	a	2.115	a
b100	3.371	a	2.914	a
b150	3.402	a	2.573	a
Tes	2.556	a	2.749	a

De acuerdo a la clasificación de las hojas curadas dadas en calidades, la suma de primera y segunda calidad, presentó diferencias significativas en la interacción municipio-dosis ( $P < 0,05$ ), donde el municipio de Garzón presentó los mayores rendimientos con un promedio de  $1.104 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que Campoalegre presenta un promedio de  $669 \text{ kg ha}^{-1}$ . La dosis que presentó el mayor rendimiento fue el testigo de Garzón, alcanzando un valor de  $1.392 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido de la dosis recomendada (100%) con un rendimiento de  $1.297 \text{ kg ha}^{-1}$  (**Figura 3-2a**). Para la tercera calidad, se presentaron diferencias

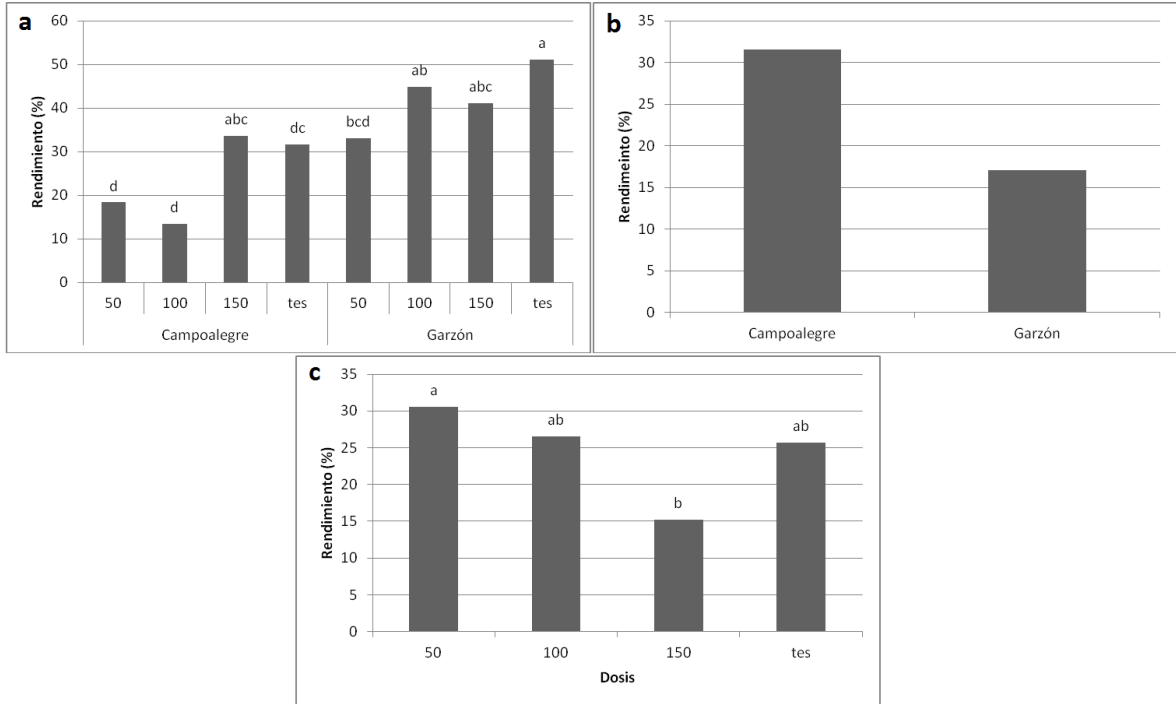
significativas solo para municipio ( $P < 0,01$ ), donde el municipio de Campoalegre presentó los mayores valores ( $1.035 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (**Figura 3-2b**). Para la calidad otros no se presentaron diferencias estadísticas; sin embargo, el municipio de Campoalegre presentó el mayor rendimiento con un promedio de  $1.374 \text{ kg ha}^{-1}$  y Garzón un rendimiento de  $1.080 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Figura 3-2:** Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) según calidad de hojas curadas de tabaco en los municipios de Campoalegre y Garzón. a. Calidad primera y segunda. b. Calidad tercera.



Al comparar la proporción de cada calidad con respecto al rendimiento total, hay diferencias significativas en la interacción municipio-dosis para la suma de la calidad primera y segunda ( $P < 0,05$ ). El testigo de Garzón presenta mayor valor con un 51% de participación dentro del rendimiento, seguido por el 100% de la dosis de aplicación en este mismo municipio con un valor de 45% (**Figura 3-3a**). Para la calidad tercera se presentan diferencias significativas entre municipios ( $P < 0,001$ ; **Figura 3-3b**), presentando el mayor porcentaje de terceras en Campoalegre (31%) y para dosis ( $P < 0,05$ ), donde la dosis del 50% de fertilización presenta el mayor valor (31%) y el menor porcentaje el 150% de la dosis recomendada (15%) (**Figura 3-3c**).

**Figura 3-3:** Rendimiento (%) de calidades con respecto al rendimiento total de hojas curadas de tabaco en los municipios de Campoalegre y Garzón. a. Calidad primera y segunda. b. Calidad tercera por municipios. c. Calidad tercera por dosis.



### 3.4.2 Parámetros físicos

Para el porcentaje de lámina y vena, se muestran diferencias significativas entre los municipios para los pisos foliares media mata y superiores ( $P < 0,001$  y  $P < 0,05$  respectivamente) y para la suma de calidades primeras y segundas ( $P < 0,001$ ). El municipio de Campoalegre presenta mayor porcentaje de lámina y el municipio de Garzón mayor porcentaje de vena (**Tabla 3-6** y **Tabla 3-7**).

Para las medidas de la hoja (largo y ancho), se presentan diferencias significativas entre los municipios para todos los pisos foliares (bajeros, media mata y superiores;  $P < 0,001$ ,  $P < 0,001$  y  $P < 0,01$  respectivamente) y para las tres calidades (primeras y segundas, terceras y otras;  $P < 0,001$ ), siendo Garzón el municipio que muestra mayor valor en estos parámetros frente al municipio de Campoalegre (**Tabla 3-6** y **Tabla 3-7**).

**Tabla 3-6:** Parámetros físicos de calidad de hojas de tabaco Virginia por piso foliar en los municipios de Campoalegre y Garzón.

Variable	Piso foliar	Campoalegre		Garzón	
Peso de lámina (g)	Bajeras	27	b	39	a
	Media mata	37	b	55	a
Peso de vena (g)	Bajeras	13	b	19	a
	Media mata	17	b	30	a
Peso total (g)	Bajeras	40	b	58	a
	Media mata	54	b	85	a
Lamina (%)	Media mata	68	a	65	b
	Superiores	68	a	67	b
Vena (%)	Media mata	32	b	35	a
	Superiores	32	b	33	a
Largo hoja (cm)	Bajeras	16	b	21	a
	Media mata	18	b	24	a
	Superiores	19	b	23	a
Ancho hoja (cm)	Bajeras	5	b	6	a
	Media mata	6	b	7	a
	Superiores	6	b	7	a

Igualmente, se puede observar que los valores de los parámetros físicos a excepción del porcentaje de lámina y vena, aumentan a medida que aumenta el piso foliar, encontrándose mayores valores en las hojas superiores que corresponden con el tercio superior de la planta (**Tabla 3-7**). En cuanto a las calidades, entre mayor sea la calidad (primeras y segundas) mayor valor en los parámetros físicos evaluados en el presente ensayo (**Tabla 3-7**).

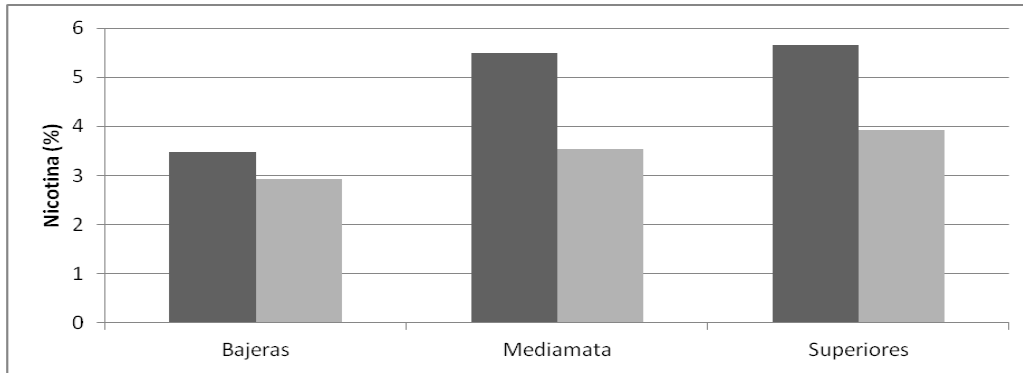
**Tabla 3-7:** Parámetros físicos de calidad de hojas de tabaco Virginia por calidad en los municipios de Campoalegre y Garzón.

Variable	Calidad	Campoalegre		Garzón	
Peso de lámina (g)	Primeras y segundas	50	b	65	a
	Terceras	41	b	47	a
	Otras	24	b	42	a
Peso de vena (g)	Primeras y segundas	24	b	34	a
	Terceras	19	b	24	a
	Otras	12	b	20	a
Peso total (g)	Primeras y segundas	74	b	99	a
	Terceras	60	b	71	a
	Otras	36	b	62	a
Lamina (%)	Primeras y segundas	68	a	66	b
Vena (%)	Primeras y segundas	32	b	34	a
Largo hoja (cm)	Primeras y segundas	19	b	24	a
	Terceras	18	b	21	a
	Otras	16	b	22	a
Ancho hoja (cm)	Primeras y segundas	6	b	7	a
	Terceras	5	b	6	a
	Otras	4	b	6	a

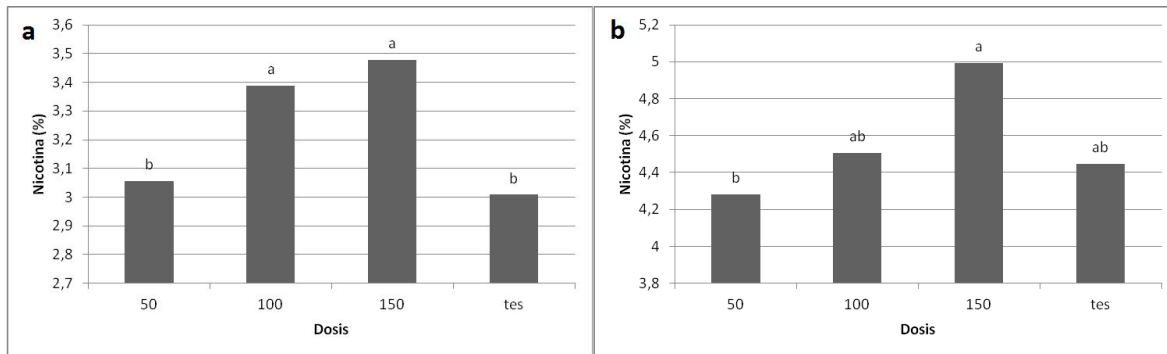
### 3.4.3 Parámetros químicos

El contenido de nicotina presenta diferencias estadísticas entre municipios para los tres pisos foliares ( $P < 0,001$ ) y entre las dosis de fertilización para hojas bajas ( $P < 0,01$ ) y superiores ( $P < 0,01$ ). En cuanto a los municipios, Campoalegre es el que presenta los mayores contenidos de nicotina para los pisos foliares, siendo los valores 3,5% para bajas, 5,5% en media mata y 5,7% en hojas superiores (**Figura 3-4**). En las hojas bajas, las mayores dosis (100 y 150%) son las que presentan mayor valor de nicotina (3,4 y 3,5% respectivamente) (**Figura 3-5a**), mientras que en hojas superiores la dosis de 150% la recomendación, alcanzó el mayor contenido de nicotina (5%) (**Figura 3-5b**).

**Figura 3-4:** Contenido de nicotina (%) en hojas curadas de tabaco Virginia según el piso foliar, en los municipios de Campoalegre ■ y Garzón ■.

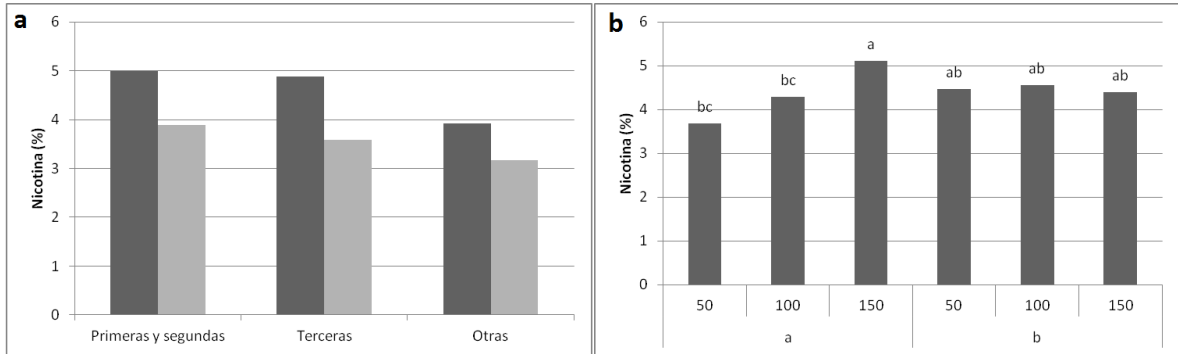


**Figura 3-5:** Contenido de nicotina (%) en hojas curadas de tabaco Virginia para Campoalegre y Garzón, según dosis de aplicación para los pisos foliares bajas (a) y superiores (b).



En cuanto a las calidades, el contenido de nicotina presenta diferencias estadísticas entre municipios para los tres calidades ( $P < 0,001$ ) y en la interacción fuente de fertilización y dosis para la suma de primeras y segundas ( $P < 0,01$ ). En los municipios, Campoalegre es el que presenta los mayores contenidos de nicotina para las calidades, siendo los valores 5% para la suma primeras y segundas, 4,9% para terceras y 3,9% para otras (**Figura 3-6a**). En la suma de calidades primeras y segundas, el mayor valor se presentó en la utilización de SAM y 150% de la dosis (5,1%) (**Figura 3-6b**).

**Figura 3-6:** Contenido de nicotina (%) en hojas curadas de tabaco Virginia según calidades. a. Diferencias entre municipios (Campoalegre ■, Garzón ■) b. Interacción fuente-dosis (a: utilización de SAM; b: no utilización de SAM; tes: testigo; 50, 100 y 150: 50%, 100% y 150% dosis de fertilización respectivamente).



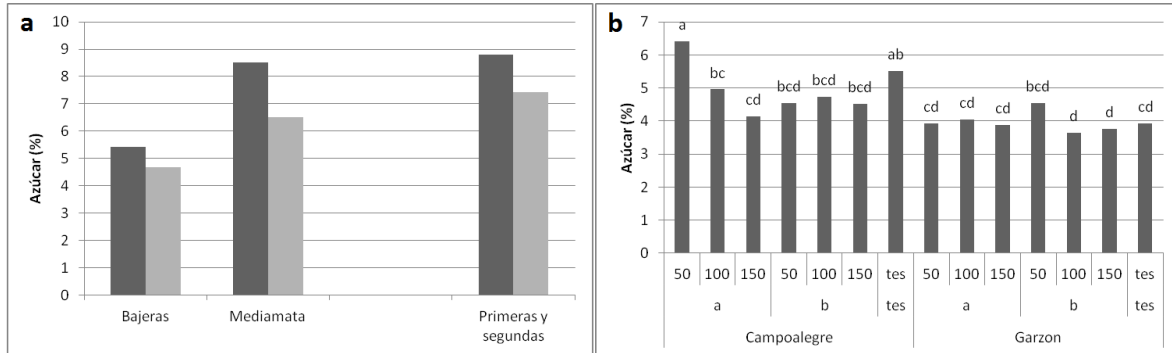
Para el contenido de azúcar (azúcares reductores) se encontraron diferencias altamente significativas entre municipios para las hojas bajas y media mata ( $P < 0,001$ ) y para la suma de calidades primeras y segundas ( $P < 0,001$ ), donde el municipio de Campoalegre presenta los mayores contenidos de este parámetro, con valores de 5,4% para bajas, 8,5% para media mata y 8,8% para primeras y segundas (**Figura 3-7a**). Para la calidad otros, se presentan diferencias en la interacción municipio-fuente-dosis ( $P < 0,05$ ), donde la utilización de sulfato de amonio al 50% de la dosis (a50) en el municipio de Campoalegre presenta los mayores valores (6,4%) seguido del testigo de este mismo municipio (5,5%) (**Figura 3-7b**).

### 3.5 Discusión

#### 3.5.1 Rendimiento

La disponibilidad, absorción y distribución de los nutrientes en las plantas son factores que inciden en la acumulación y distribución de la biomasa y el rendimiento (López-Lefebvre, *et al.* 2002). El estado nutricional de los principales macronutrientes (N, P y K) influyen en la producción y distribución de la biomasa entre los diferentes órganos de la planta (Marschner, *et al.*, 1996 citado por López-Lefebvre, *et al.* 2002). En tabaco, la hoja representa cerca del 42% de la materia seca total de la planta, los tallos el 32% y las raíces 26% (Moustakas y Ntzanis, 2005).

**Figura 3-7:** Contenido de azúcar (%) en hojas curadas de tabaco Virginia según el piso foliar y calidades. a. Diferencias entre municipios para las hojas bajas, mediamata y la suma de las calidades primeras y segundas en los municipios de Campoalegre ■ y Garzón ■. b. Interacción municipio-fuente-dosis (a: utilización de SAM; b: no utilización de SAM; tes: testigo; 50, 100 y 150: 50%, 100% y 150% dosis de fertilización respectivamente).



La aplicación desequilibrada de nutrientes da lugar a baja eficiencia de uso y limita la plena expresión del potencial genético del cultivo del tabaco (Pengda *et al.*, 2011). Tradicionalmente, la sobrefertilización se aplicaba para lograr altos rendimientos, teniendo como resultado disminuciones en rendimiento y calidad, y adicionalmente contaminación de cuerpos de agua y el medio ambiente (Yiqiang *et al.*, 2009 citado por Pengda *et al.*, 2011). Igualmente, aplicaciones por encima de las recomendaciones de los análisis de suelo por lo general no mejoran el rendimiento ni la calidad del tabaco, pero aumentan los costos de producción (Smith, 2009). Por lo tanto, una fertilización balanceada se requiere para mayor crecimiento y desarrollo de la planta expresado esto en mayor altura y crecimiento relativo, expresándose en mayor rendimiento y mejor calidad (Sardans *et al.*, 2005; Gurumurthy y Vageesh, 2007). Lo anterior mejora la productividad y rentabilidad de los cultivos (Bao, 1997).

Su *et al.* (2006) encontraron mayores rendimientos en tabaco Virginia bajo fertilización óptima (135 kg ha<sup>-1</sup> de N, 195 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 240 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). La no aplicación de alguno de estos nutrientes en la fertilización puede disminuir el rendimiento entre 6 a 48%, además de causar desbalances en el suelo presentándose deficiencias de nutrientes (Bao, 1997; Su *et al.*, 2006).



En esta investigación no se presentaron diferencias entre los tratamientos evaluados (fuente fertilizante y dosis de aplicación), con promedio de rendimiento de 3.080 y 2.639 kg ha<sup>-1</sup> para Campoalegre y Garzón respectivamente, estando estos valores por debajo de lo reportado por Fisher y Smith (2009), según el Reporte Oficial de Carolina del Norte, donde el rendimiento de la variedad comercial NC297 promedio de tres años (2006-2008) fue de 3.260 kg ha<sup>-1</sup> y para 2008 fue de 3.280 kg ha<sup>-1</sup>.

Farrokh *et al.* (2012) reportan que a menor dosis de N (35 kg ha<sup>-1</sup>) y mayor dosis de K (200 kg ha<sup>-1</sup>) mayor rendimiento del cultivo de tabaco, pero en la interacción NK se alcanza mayor rendimiento cuando hay mayor dosis de K y dosis media de N (200 y 55 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente). Pengda *et al.* (2001) encontraron que los mayores rendimientos de tabaco se obtuvieron con mayores dosis de NPK. Sin embargo, altas dosis de fertilizantes (45 kg N ha<sup>-1</sup>, 39,6 kg P ha<sup>-1</sup> y 124,5 kg K ha<sup>-1</sup>) llevan a un deterioro de las calidades primeras y segundas (Kowalczyk-Juško y Kościk, 2002). En tabaco Burley la fertilización con N, NP, NK y NPK da como resultado mayores rendimientos comparado con las fertilización con P y/o K (Villares *et al.*, 2009).

En trigo y maíz, los rendimientos fueron significativamente mayores con la aplicación balanceada de NPK (150 kg N ha<sup>-1</sup>, 32,7 kg P ha<sup>-1</sup> y 124 kg K ha<sup>-1</sup>) comparado con fertilización orgánica, mezcla orgánica-inorgánica, NP, NK, PK (Cai y Qin, 2006). En haya común (*Fagus sylvatica*), mayor biomasa de tallo, hojas, número de hojas, área foliar y rendimiento (58% más en promedio) se alcanzó en suelos con alta fertilidad (Minotta y Pinzauti, 1996). En *Hibiscus cannabinus*, las plantas que crecieron con menor NPK (50, 25 y 25 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente) mostraron significativamente menor biomasa para todos los componentes de peso seco y rendimiento (Hossain *et al.*, 2010). El uso excesivo de fertilizantes NPK (67 kg ha<sup>-1</sup> de N, 101 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 202 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) resulta en un incremento de P y K en el suelo, limitando la absorción de estos elementos por la planta y como resultado una disminución en la producción y calidad (Pengda *et al.*, 2011).

En cuanto a la fertilización nitrogenada, en tabaco Virginia se reporta un mayor rendimiento de la hoja curada como resultado del aumento en las dosis de fertilización (Fuqua *et al.*, 1976; Kowalczyk-Juško y Kościk, 2002; Sifola y Postiglione, 2003; Edwards *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006; Parker, 2009; Haghghi *et al.*, 2011). Por otro lado,

Villares *et al.* (2009) no encontró diferencias significativas entre los tratamientos con dosis altas de nitrógeno (100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) en el rendimiento de tabaco. Farrokh *et al.* (2012) reportó que a menor dosis nitrógeno (35 kg ha<sup>-1</sup>) mayor rendimiento. Drossopoulos *et al.* (1999), reporta que la acumulación de materia seca de la hoja aumentó con la fertilización nitrogenada (100 kg N ha<sup>-1</sup>) y la edad de la planta (floración), y disminuyó con la posición en el tallo (bajeras). Rathbone (2008) indica que la fertilización con N presenta una respuesta cuadrática, donde la tasa más alta no presentó el mayor rendimiento en tabaco Burley, y las bajas dosis de N no proveen el suficiente N para el rendimiento potencial del cultivo. Igualmente, Smith (2009), concluyó que con la dosis sugerida de N (de 56 a 90 kg N ha<sup>-1</sup> según requerimientos) se obtiene el mayor rendimiento, presentándose al igual que en Burley, una respuesta cuadrática.

La aplicación excesiva e inadecuada de N puede afectar significativamente el rendimiento y la calidad del tabaco Virginia (McCants y Woltz, 1967; Marchetti *et al.*, 2006). Excesos de nitrógeno disminuyen la madurez de las hojas y está asociado con colores indeseables en hojas de tabaco (tonos grises, verdes y jaspeados o variegados) (Reed, 2008) los cuales se relacionan con la categoría “otros” siendo de pobre calidad. En otros cultivos se reporta que a mayor N aplicado mayor altura y acumulación de materia seca como son girasol (Cechin y De Fátima-Fumis, 2004), lechuga (Fontes *et al.*, 1997; Stagnari *et al.*, 2007). Sin embargo excesos de nitrógeno pueden inhibir la acumulación de materia seca (Fontes *et al.*, 1997). Vos *et al.* (2005) reporta que en maíz, no se presentan diferencias en la producción de materia seca bajo diferentes dosis de nitrógeno (desde 0,84 hasta 6 g de N planta<sup>-1</sup>).

El nitrato es generalmente la forma preferida de nitrógeno para la producción de tabaco Virginia, ya que el nitrógeno suministrado como amonio puede reducir el rendimiento y la calidad de la hoja (Rhoads, 1972; Cao *et al.*, 1992 citados por Karaivazoglou *et al.*, 2005, 2007). La aplicación de nitrógeno en forma de nitrato, aumenta el peso fresco y el rendimiento total en 10,5% y 14%, respectivamente; por el contrario, cuando el nitrógeno se aplicó en proporción 50:50 (NH<sub>4</sub>-NO<sub>3</sub>) y N-NH<sub>4</sub>, no se presentan diferencias en el peso fresco o el rendimiento total (Karaivazoglou *et al.*, 2005). Lu *et al.* (2005) reporta que el incremento del peso seco bajo aplicación de N-NH<sub>4</sub> fue 23,5% y 22,7% menor en comparación con NO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Karaivazoglou *et al.* (2007) y Smith (2009) indican que

el rendimiento y la calidad no son afectadas por las fuentes de nitrógeno ni la proporción. En el presente trabajo la forma de nitrógeno no se consideró una variable de evaluación debido a que la relación entre N-NH<sub>4</sub> y N -NO<sub>3</sub> aplicado fue 50:50 para los tratamientos evaluados.

Para potasio, se reporta que a mayor dosis (200 kg ha<sup>-1</sup>) mayor rendimiento en tabaco Virginia en 9% con respecto a la dosis menor (150 kg ha<sup>-1</sup>) (Farrokh *et al.*, 2012). Sin embargo, Vann *et al.* (2011) indica que el rendimiento no se vio afectado por las dosis de potasio (de 84 a 252 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), debido que los suelos tenían niveles medios y altos de este elemento (0,19 a 0,45 meq K/100 cc) y una adecuada humedad durante el desarrollo del cultivo de tabaco.

En cuanto al fósforo, varias investigaciones reportan que a mayor P mayor acumulación de materia seca en hojas y rendimiento en tabaco (Rodríguez *et al.*, 2000; Karaivazoglou *et al.*, 2007; Farrokh *et al.*, 2012). Yonghua *et al.* (2006) citado por Pengda *et al.* (2011) reportaron que la aplicación adecuada de P promueve el desarrollo radical en las plantas de tabaco, promoviendo la absorción y utilización de nitrógeno y potasio por las plantas, mejorando el rendimiento y la calidad del tabaco. Según Rideout y Gooden (2000), no se presentan diferencias estadísticas en rendimiento y calidad de tabaco a mayor dosis de este elemento.

### 3.5.2 Parámetros físicos

La fertilización también juega un papel clave para influir en los parámetros de calidad más importantes, tales como color de las hojas, textura, propiedades higroscópicas, tamaño, combustibilidad, contenido de azúcar y alcaloides (Marchand, 2010). La calidad del tabaco significa conseguir un equilibrio entre las propiedades físicas y químicas que se adapten a la demanda de la industria tabaquera y a la tendencia y el gusto de los consumidores (ANETAB, 2001). En la calidad física, el tamaño de la hoja (área y forma) es importante para los fabricantes de cigarrillos, ya que afecta la relación lámina/vena. Una alta proporción lámina vena es deseable en la fabricación de cigarrillos (Edwards *et al.*, 2005). Aunque no se ha estandarizado el valor óptimo de la relación lámina/vena, a la industria le favorece obtener el máximo de lámina, entre 65% a 70%, con vena entre 25 y 20% (Protatabaco, 2010).

En el presente estudio, el principal factor que afectó los parámetros físicos de calidad fue el municipio de evaluación, donde Garzón presentó mayores valores para todas las variables excepto porcentaje de lámina. Aunque los tratamientos no presentaron diferencias significativas, varios estudios han demostrado la relación de la fertilización con la calidad física. Peterson (1960) y Collins y Hawks (1993) citados por Edwards *et al.* (2005) reportan que incrementos en las dosis de nitrógeno incrementan el área foliar y la relación ancho/largo de las hojas, mientras el peso seco por unidad de área (grosor) de las hojas se reduce. Rachman *et al.* (1990) y Mahdavi *et al.* (2008) citados por Haghghi *et al.* (2011), concluyeron que el aumento de los niveles de nitrógeno, aumentan las dimensiones de la hoja dadas en largo y ancho, lo cual induce a un aumento en el rendimiento del tabaco. Sin embargo, un aumento en el rendimiento total no significa mayor rendimiento de tabaco superior (calidad), es decir no se obtiene mejor calidad física, la fertilización con N y K aumentan el rendimiento pero disminuyen la calidad física (Pengda *et al.*, 2011).

Otras investigaciones indican que uno de los factores más importantes que determinan los parámetros físicos de calidad es la temperatura (Edwards *et al.*, 2005). Raper *et al.* (1971) citado por Trendell *et al.* (1984) reporta que la temperatura determina el área foliar y el peso de las hojas, donde una disminución de la temperatura día/noche de 12/12 °C, induce a que el área foliar disminuya y el peso de la lámina por unidad de área incrementen en un 40%. Estos resultados no se pueden relacionar con los obtenidos en esta investigación, debida a que la variación entre la temperatura día/noche en los dos municipios de estudio es de 4°C para Campoalegre y 3,5°C para Garzón, concluyendo que este factor no influye de manera directa este parámetro físico de la hoja. Trendell *et al.* (1984) reporta que a mayor temperatura mayor área foliar y número de hojas traducido en mayor rendimiento; sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron con una temperatura promedio de 22.1°C. Tso, (1999) citado por Edwards *et al.* (2005) reporta que las temperaturas mínimas de 18 a 22°C y máximas de 28 a 32°C son ideales para la etapa crítica de crecimiento y expansión de las hojas. Las bajas temperaturas pueden hacer más lenta la tasa de división celular y reducir la tasa de expansión foliar (Evans y Savage, 1959 citados por Trendell *et al.*, 1984), hojas delgadas tienen un menor poder de llenado lo cual incide en la fabricación del cigarrillo (Akehurst, 1981 citado por

Trendell *et al.*, 1984) debido a que a menor poder de llenado mayor cantidad de tabaco en un cigarrillo por lo tanto mayor costo de producción (López, 2002)

### 3.5.3 Parámetros químicos

La evaluación de la calidad de la hoja de tabaco depende principalmente de las concentraciones relativas de diferentes compuestos orgánicos, tales como azúcares reductores y alcaloides totales (Miner y Tucker, 1990). La calidad se ve afectada por muchos factores de campo como clima, suelo, variedad, técnica de siembra, entre otros, y luego de la cosecha puede variar de manera determinante con la técnica de curación. Sin embargo, las condiciones del suelo son la base para la producción de tabaco Virginia de alta calidad, sobre todo el suministro de N (Collins y Hawks, 1994; ANETAB, 2001; Rojo, 2008; Tso, 1990 citado por Ju *et al.*, 2008)

Excesos de N algunas veces incrementan el rendimiento pero se disminuye la calidad de la hoja debido a un alta concentración de alcaloides y menor de azúcares reductores, retrasos en la maduración y hojas curadas verdes e inmaduras (McCants y Woltz, 1967; Miner y Tucker, 1990; Parker, 2009). Insuficiente N (por debajo de los requerimientos) reduce el rendimiento y produce pobre calidad como resultado de un bajo contenido de alcaloides y altos azúcares reductores, textura cerrada y reducción en la combustibilidad. La fertilización nitrogenada debe ser balanceada para producir hojas con propiedades químicas balanceadas y buenas propiedades físicas (Miner y Tucker, 1990). Teniendo en cuenta que para el cultivo de tabaco las recomendaciones de este elemento varían de acuerdo a los autores, Rojo (2008) reporta que el requerimiento de N está entre 90-100 kg ha<sup>-1</sup>, para Reed *et al* (2011) está entre 67-78 kg ha<sup>-1</sup>, Smith (2009) recomienda entre 56 y 90 kg ha<sup>-1</sup>, Ballari (2005) reporta que para un rendimiento de 3.200 kg ha<sup>-1</sup> se requieren 181 kg de N.

Altitud y condiciones de suelos son factores importantes que influyen en la formación de calidad del tabaco Virginia (Xu *et al.*, 2005, 2008 citados por Huifang y Zicheng, 2011). Cambio en la altitud causan diferencias en la cantidad de radiación solar, temperatura efectiva acumulada, temperatura, humedad del aire, etc. (Jian *et al.*, 2005 citados por Huifang y Zicheng, 2011), lo cual incide en la calidad del tabaco, principalmente en la concentración de azúcares. A menor temperatura se observa menor concentración de

azúcares reductores y alcaloides totales (Trendell *et al.*, 1984). Estos resultados coinciden con lo encontrado en la presente investigación debido a que el municipio de Garzón el cual tiene menor temperatura promedio (24°C) comparada con Campoalegre (28°C) presentó los menores valores para estas dos variables.

Los resultados de esta investigación presentan promedio de nicotina y azúcares de 4,4 y 6,35% para Campoalegre y 3,5 y 5,8% Garzón respectivamente, estando estos valores por debajo de lo reportado por Fisher y Smith (2009), según el Reporte Oficial de Carolina del Norte para la variedad comercial NC297 promedio de tres años (2006-2008) es de 15,9%, total alcaloides 2,8%. Sin embargo, de acuerdo a los rangos suministrados por la empresa Protabaco (2010), los valores de nicotina para Garzón se ubican dentro del rango aceptable (2,5 - 5%) para todos los pisos foliares en todos los tratamientos. Por el contrario, los valores de nicotina para Campoalegre se ubican por encima del rango aceptable para los pisos foliares mediamata y superior en todos los tratamientos evaluados. Los contenidos de azúcares de los dos municipios evaluados se encuentran por debajo del rango aceptable (11,5 – 23%) para todos los tratamientos, esta variable se pudo ver afectada por un mal manejo de temperatura durante la curación afectando los contenidos de azúcares, como se explicó anteriormente.

### **3.5.4 Nicotina**

Nicotina representa el 95% de los alcaloides totales encontrados entre los componentes químicos de la hoja de tabaco (ANETAB, 2001; Xi *et al.*, 2008), y es un indicador clave para evaluar la calidad de la hoja del tabaco Virginia (Collins y Hawks 1994). Este alcaloide tiene dentro de su estructura el elemento nitrógeno el cual es el 17,3% del peso molecular de la molécula (Collins y Hawks, 1994; Xi *et al.*, 2005; Campell *et al.*, 1982 citados por Wang *et al.*, 2008; Haghghi *et al.*, 2011) y la cantidad de N utilizado para la síntesis representa entre el 5 y 6% del nitrógeno total (Xi *et al.*, 2008).

En los resultados de este trabajo se pudo observar que para las hojas superiores y bajas se presenta mayor contenido de nicotina a las dosis más altas (100 y 150%) de fertilización. Estos resultados coinciden con diferentes estudios que indican que la concentración de nicotina en las hojas de tabaco esta cercanamente correlacionada con

el aumento del nitrógeno aplicado (Steinberg y Tso, 1958; Court y Elliot, 1978; Fuqua *et al.*, 1976; Collins y Hawks 1994; Edwards *et al.*, 2005; Su *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2008; Reed, 2008; Wang, *et al.*, 2008; Haghghi *et al.*, 2011). Una adecuada adición de nitrógeno en el cultivo de tabaco Virginia (120 kg ha<sup>-1</sup>) puede mantener baja la concentración de nicotina en las hojas (<5%) (Wang, *et al.*, 2008). Y el control del suministro durante las últimas etapas de crecimiento reduce la concentración de nicotina en las hojas (Xi *et al.*, 2005). Igualmente, la concentración de nicotina se ve afectada significativamente por la forma de N aplicada (Karaivazoglou *et al.*, 2007), donde la forma de nitrógeno nítrico favorece la concentración de nicotina en la hoja comparado con el nitrógeno amoniacal en los pisos foliares (Karaivazoglou *et al.*, 2005). Sin embargo, para el desarrollo de este trabajo se aplicó una relación 50:50 de N-NH<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub>.

Sin embargo hay investigaciones que indican que no existe una relación directa entre la adición de N y el contenido nicotina en las hojas de tabaco (Wang *et al.*, 2008) debido a que la acumulación de nitrógeno ocurre principalmente en el estado de crecimiento lento (a las 8 semanas se ha tomado alrededor del 85% del N total), y la concentración de nicotina en las hojas de tabaco en este mismo estado es poca, pero se incrementa su concentración en el estado de crecimiento tardío, especialmente en el periodo después del cape (Collins y Hawks, 1994; Ju, *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2008; Xi *et al.*, 2008; Wang, *et al.*, 2008). Igualmente, se conoce que los daños en la planta aumentan la concentración de nicotina, lo que indica que la síntesis de nicotina puede ser afectada por una respuesta a heridas mecánicas, debido a que la nicotina es un compuesto de defensa que su síntesis es estimulada por el ataque de herbívoros o daños mecánicos (Lambers *et al.*, 2008). Resultados de investigaciones reportan que la remoción del ápice incrementa marcadamente la concentración de nicotina en hojas, independientemente de la dosis de N aplicada (Shi *et al.*, 2006; Wang, *et al.*, 2008; Xi *et al.*, 2008). Sin embargo, las hojas superiores de las plantas pueden usar el N absorbido antes de retirar el ápice para sintetizar la nicotina (Xi *et al.*, 2005).

Por otro lado, se pudo observar que las concentraciones de nicotina son menores en las hojas bajas (3,2%) y mayores en las hojas superiores (4,6%), coincidiendo con lo reportado para tabaco Virginia por ANETAB (2001), Xi *et al.* (2005), Rojo (2008) y Wang *et al.* (2008) los cuales argumentan que en las hojas, la concentración de nicotina aumenta desde abajo hacia arriba, con porcentaje de 1,5 a 2,5 en hojas bajas, 2,5 en

media mata y de 3 a 3,5 en hojas superiores (Rojo, 2008). Sin embargo es importante destacar que los contenidos de nicotina obtenidos durante la investigación son mayores con respecto a lo reportado en la literatura por piso foliar, pero se encuentran dentro del rango aceptable (2,5 - 5%) determinado por la empresa (Protabaco, 2010).

### **3.5.5 Azúcares**

La importancia de los azúcares en la calidad del tabaco, se debe a que estos juegan un papel importante durante la combustión por la formación del gusto y el aroma del cigarrillo. Los azúcares reductores están compuestos principalmente por glucosa y fructosa y en menor medida por sacarosa y maltosa, representan del 6 al 30% de la materia seca del tabaco Virginia (López, 2002).

En los resultados de este trabajo el factor que presentó las mayores diferencias en las hojas bajas, media mata y la sumatoria de las calidades primeras y segundas, fue el municipio de evaluación, donde Campoalegre fue el que presentó los mayores contenidos de esta variable. Campoalegre presenta mayor radiación solar ( $371,4 \text{ W m}^{-2}$ ) y mayor temperatura promedio ( $28,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) comparado con Garzón ( $319,9 \text{ W m}^{-2}$  y  $24,4^{\circ}\text{C}$  respectivamente), condiciones ambientales que pueden afectar la concentración de azúcares en las hojas de tabaco. En papa se ha encontrado que la temperatura ambiental afecta el contenido de azúcar de los tubérculos (Arreguín-Luzano y Bonner, 1949; Timm *et al.*, 1968 citados por Kumar *et al.*, 2004). Las papas cultivadas en las zonas más cálidas presentan mayor contenido materia seca y menor contenido de azúcar (Kumar *et al.*, 2003 citados por Kumar *et al.*, 2004). Sin embargo, una temperatura demasiado alta ( $>30^{\circ}\text{C}$ ) también se traduce en mayor contenido de azúcar en los tubérculos (Kumar *et al.*, 2004).

Igualmente, el curado puede afectar la calidad lograda en campo si no se hace un manejo adecuado de la temperatura y humedad, porque en la primera etapa del curado (fase de amarillamiento) la temperatura afecta la acumulación de almidón y azúcares en las hojas curadas de tabaco, debido a que el almidón tienden a degradarse más rápidamente a temperaturas de amarillamiento más altas (Abubakar *et al.*, 2000; Rojo, 2008). Un estudio realizado por Abubakar *et al.* (2000) reporta que a temperatura más



alta en la fase de amarillamiento la concentración de azúcar reductores fue menor. Esta podría ser parte de la explicación en las diferencias de calidad para los dos municipios de la investigación, debido a que el manejo poscosecha se realizó en hornos de curación propios de cada municipio, y debido a que no hay monitoreo de los parámetros de temperatura y humedad, estos pudieron ser diferentes para cada zona afectando la concentración de azúcares de las hojas de tabaco.

En cuando a la fertilización, solo para la calidad otros se observó una interacción entre municipio, fuente fertilizante y dosis de aplicación, siendo la dosis del 50% de la fertilización y la aplicación del SAM en Campoalegre, las que presentaron mayor contenido de azúcares. En diferentes investigaciones se ha concluido que la fertilización (nutrientes y dosis) tienen un efecto considerable sobre el contenido de azúcar en las hojas de tabaco. Su *et al.* (2006) reportó que los mayores valores de azúcar se alcanzaron con la fertilización óptima y dosis altas. Pengda *et al.* (2011) reporta que cuando hay una fertilización balanceada se presentan mayores valores de azúcares reductores. Wang *et al.*, 2006 y Edwards *et al.* (2005), encontraron que los menores valores se presentaron con exceso de la fertilización nitrogenada. Estos reportes coinciden con los resultados de éste trabajo donde se observa que la concentración de azúcar disminuye con el aumento de la dosis de fertilización. Sin embargo, otros autores reportan que deficiencias de nitrógeno disminuyen la acumulación de azúcares y almidones en hojas debido a que se afecta la fotosíntesis de la planta al igual que las deficiencias de fósforo (Pieters *et al.*, 2001; Hermans *et al.*, 2006; Lin *et al.*, 2009).

Por otro lado, deficiencias de K y Mg inducen la acumulación de azúcares en las plantas (Hermans *et al.*, 2006). Vann *et al.* (2011) reporta que el contenido de azúcares reductores se vio afectada por la dosis de potasio, donde a mayor dosis menor contenido. Haghghi *et al.* (2011) reportaron que el máximo contenido de azúcares reductores (13,7%) se presentó con la máxima dosis de potasio ( $350 \text{ kg ha}^{-1}$ ), debido a que el potasio participa en la apertura estomática y haciendo que más dióxido de carbono se fije y se convierte en más glucosa. Sin embargo, otros estudios indican que el contenido de azúcares reductores no se ve afectado por la dosis de potasio (Woltz *et al.*, 1949; Elliot, 1968; Chaplin y Miner, 1980 citados por Vann *et al.*, 2011).

Los contenidos de azúcares del tabaco Virginia, varían dependiendo de la posición foliar de la hoja, y pueden oscilar de 5 a 20% o 10 y 21% (ANETAB, 2001; Rojo, 2008), siendo más altos en las posiciones superiores. Los resultados de esta investigación no coincide con lo reportado por estos autores, debido a que los pisos inferiores tienen un contenido de azucares de 5%, pisos intermedios de 7,4% y superiores de 6,6%, donde el valor más alto se reporta en las hojas de la parte central de la planta. Sin embargo, Rogers y Mitchem (1976) citados por Edwards *et al.* (2005) reportan que la mayor concentración de azúcares se encuentra típicamente en las hojas del medio del tallo. Igualmente, Protabaco (2010), comenta que las hojas curadas de tabaco Virginia provenientes de las diferentes regiones del país, presentan los mayores valores de azúcares en el tercio medio de la planta, y estos disminuyen en los pisos superiores.

## **4. Evaluación técnica de programas de fertilización en el cultivo de tabaco Virginia, en los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila**

### **4.1 Resumen**

La producción agrícola es dinámica y competitiva, y los productores deben ser más eficientes en la utilización de los recursos para obtener mayor rendimiento y mejor calidad al menor costo permisible. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación técnica de programas de fertilización en el cultivo de tabaco Virginia, en los municipios de Campoalegre y Garzón del departamento del Huila. Se evaluaron siete tratamientos correspondientes a seis alternativas de fertilización (tres dosis y dos alternativas de fuentes de aplicación) y un testigo comercial. Cuando las hojas alcanzaban la madurez de recolección, se cosecharon, se curaron y posteriormente se clasificaron y pesaron para obtener el rendimiento y la calidad por tratamiento. Para el análisis técnico y económico se tuvo en cuenta el rendimiento, costo de la fertilización, ingreso bruto y neto, y calidad de compra. El municipio de Campoalegre presentó mayor rendimiento promedio ( $3.080 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con respecto a Garzón ( $2.640 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Para los dos municipios los costos más altos se presentaron en los tratamientos con dosis del 150% de la fertilización y la utilización de SAM. Para Campoalegre, los mayores rendimientos se obtuvieron con la no utilización de SAM a las tres dosis. En Garzón, los mayores rendimientos se obtuvieron con la dosis al 100% con y sin aplicación de SAM y el testigo comercial. La mejor relación beneficio-costos en Campoalegre se obtuvo con el tratamiento b50 (no aplicación de SAM al 50% de la dosis) y en Garzón se obtuvo con el testigo.

### **4.2 Introducción**

Dentro de los cultivos transitorios que se siembran en Colombia, el cultivo de tabaco es el décimo primero en importancia por área sembrada, donde en el 2009 se tenían 9.829 ha de tabaco con 9.520 unidades productoras en el país, experimentando un crecimiento del orden del 11% respecto al año anterior. Para este mismo año los departamentos con

mayor participación del área sembrada fueron Santander (51%), Huila (17%), Bolívar (15%), Sucre (7%) y otros departamentos como Boyacá, Guajira, Tolima, Valle del Cauca, Cauca, Quindío, Risaralda y Magdalena (10%), con área promedio por unidad productora de 1, 6, 4, 0.5 y 0.4 hectáreas respectivamente (ENA, 2009).

En Colombia se cultiva tanto el tabaco rubio como el tabaco negro, los cuales se diferencian entre sí por su composición química y propiedades organolépticas. Dentro de los tabaco rubios se cultivan tres tipos, el Virginia (o "flue cured"), el Burley y el Virginia secado al aire (VICA) (Espinal *et al.*, 2005). El tabaco Virginia tiene un sabor y aroma suaves, medio contenido de nicotina y elevado azúcares, el humo de su combustión es dulce y ácido, se cosecha hoja a hoja y es curado en hornos alimentados con calor artificial, las hojas curadas adquieren una tonalidad amarilla (Rojo, 2008). El tabaco Burley tiene un sabor neutro, buena combustibilidad y factor de relleno, se cosecha la planta completa y es secada o curada al aire, las hojas curadas adquieren una coloración rojiza (Rojo, 2008). La producción de tabaco Rubio se presenta en dos regiones que aportan hasta ahora el 81,3% de la producción, la primera región está conformada por Santander, Norte de Santander y Boyacá con el 47,7%, y la segunda región la conforman Huila y Tolima con el 37%, y se ha venido implementando en Quindío, Risaralda, Magdalena, Guajira y Valle del Cauca con el 18,7% de la producción (Espinal *et al.*, 2005; Zambrano y Tovar, 2007).

Del tabaco Negro se cultivan dos tipos, el García y el Cubita (Espinal *et al.*, 2005; León y Coronado, 2006). El tabaco Negro suele tener un sabor y aroma fuertes, alto contenido en nicotina y reacción alcalina del humo, es secado al aire en atmósfera natural y después de un proceso de fermentación adquieren tonalidades que van del color café con leche al marrón oscuro (Rojo, 2008). El tabaco negro, tipo García, tiene hojas grandes, anchas y gruesas, mientras el tipo cubita tiene hojas alargadas y angostas, adicionalmente, el contenido de nicotina y alquitrantes es baja comparada con los demás tabacos colombianos (Espinal *et al.*, 2005; León y Coronado, 2006). La producción de Tabaco Negro tipo Cubita se ha concentrado en los departamentos de Sucre (62%), Bolívar (21%), y Magdalena (17%) debido a su localización cerca de los puertos. La producción de Tabaco Negro tipo García se ha concentrado en Santander (84.5%) y Boyacá (15.5%) (Espinal *et al.*, 2005; Zambrano y Tovar, 2007).

La importancia socioeconómica del cultivo de tabaco en Colombia se fundamenta en la generación de empleo por el consumo de mano de obra, ingreso para familias productoras debido a que es un cultivo que se adapta a terrenos pobres y con escasas de agua, permitiéndoles un ingreso económico razonable, además cuentan con un mercado asegurado y financiación de las empresas compradoras, aunque, muchas veces no alcanza a satisfacer sus necesidades básicas sociales (CCI, 2001; Agrocadenas, 2004 y 2005).

El Departamento del Huila se ha venido especializando en la producción de tabaco Virginia curado al horno "flue cured", el cual se cultiva especialmente en los municipios de Campoalegre, Garzón, Rivera, Altamira, Agrado, Algeciras, Palermo, Hobo, Gigante, Tesalia, Villavieja, Guadalupe, Neiva, Yaguara, Baraya y Suaza, donde Campoalegre y Garzón representan el 49% del área sembrada. Este cultivo ha jugado un papel importante en la economía regional por la generación de empleo directo e ingresos rurales, con aproximadamente 260 jornales ha<sup>-1</sup> por cosecha, esto sin tener en cuenta los empleos indirectos como producción de combustible, insumos, comercializadoras, transporte, etc. Igualmente, presenta ingresos al departamento por impuestos y divisas a través de exportaciones de Tabaco en rama y/o productos procesados, la industria manufactura del tabaco genera tecnología, empleo y contribuye a genera ingresos en las zonas rurales en la medida que apoya la producción de la materia prima (Zambrano y Tovar, 2007).

El sistema de producción de tabaco en el departamento Huila, se caracteriza por tener un área de siembra promedio de 7 hectáreas en Campoalegre y 8 has en Garzón, utilizar principalmente mano de obra contratada para las labores de cultivo (trabajadores temporales), utilizar lotes para el cultivo principalmente en arriendo, tener disponibilidad de agua para riego, hacer el riego por gravedad, realizar las labores de preparación del suelo con maquinaria (tractor), utilizar regularmente herbicidas, tener rotación con cultivos como maíz, frijol, arroz y/o sorgo y obtener dos cosechas al año, la primera entre junio y julio y la segunda entre agosto y octubre (Plaza *et al.*, 2011b). Dentro de la estructura de costos en el cultivo de tabaco para el departamento del Huila, la fase de campo es responsable del 73,5% de los costos, seguido de la poscosecha con el 20,5% y el semillero solo participa con el 6%. Dentro de las actividades realizadas en la fase de

campo la fertilización es la labor que más participación tiene con un 26%, seguido del establecimiento del cultivo el cual incluye preparación del suelo y trasplante (Plaza *et al.*, 2011a).

La producción agrícola es dinámica y competitiva, y los productores cada día deben ser más eficientes en la utilización de los recursos para obtener mayor rendimiento de sus cosechas, mejor calidad al menor costo permisible (Rojo, 2008), debido a que la rentabilidad del sistema productivo tabacalero proviene de la producción (rendimiento y calidad) y del precio percibido por el productor con relación a la inversión (costos) (Chouteau y Fauconier, 1993). Una actividad importante para lograr este objetivo (mejor producción y calidad) es un adecuado manejo correcto y balanceado de los nutrientes debido a que esto redundará en una planta sana, capaz de expresar todo su potencial genético (Rojo, 2008). Para el establecimiento de un programa de fertilización óptimo que aporte la cantidad de nutrientes que la planta necesita en el momento oportuno para alcanzar su potencial de producción, se debe tener en cuenta el estado nutricional del suelo, la máxima absorción nutricional, la tasa de absorción de nutrientes durante el ciclo de vida de la planta y la distribución de estos (hojas, tallos y raíces), para (Moustakas y Ntzanis, 2005; Rojo, 2008).

Como la fertilización representa un alto porcentaje dentro de los costos totales de producción, es importante conocer los factores que influyen en la respuesta de las plantas a la aplicación de fertilizantes, para poder determinar las cantidades adecuadas que se deben aplicar, para obtener el mayor beneficio técnico y económico (Flórez *et al.*, 1978). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación técnica de programas de fertilización en el cultivo de tabaco Virginia, en los municipios de Campoalegre y Garzón del departamento del Huila.

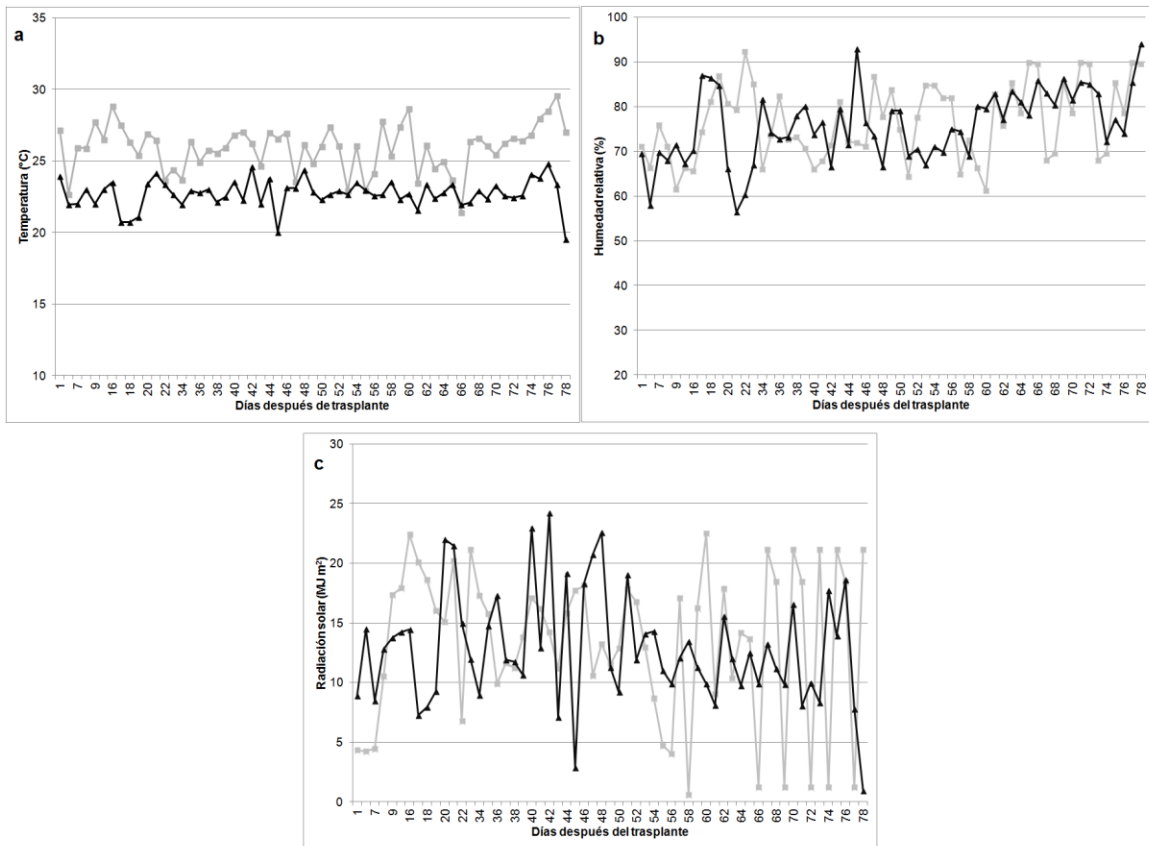
## **4.3 Materiales y Métodos**

### **4.3.1 Ubicación**

El trabajo se realizó en el 2010, en dos fincas tabacaleras ubicadas del departamento del Huila (Colombia) en los municipios de Campoalegre ubicado a 525 msnm, temperatura

promedio de 28°C, humedad relativa de 68% y radiación solar promedio de 32 MJ m<sup>-2</sup>, y el municipio de Garzón ubicado a 790 msnm, temperatura promedio de 25°C, humedad relativa de 74% y radiación solar promedio de 28 MJ m<sup>-2</sup> (**Figura 4-1**). Presentan suelos franco arenosos y pH ligeramente y moderadamente ácido respectivamente, contenidos de P, K, Mg, S y Cl no adecuados para el cultivo, textura, pH y porcentaje de N ideal (**Tabla 4-1**). El material utilizado fue tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) Virginia variedad NC297, se realizó semillero y cuando las plantas tenían 5 hojas verdaderas se trasplanto con densidad de siembra de 20.833 plantas ha<sup>-1</sup>, distribuidas en surcos de 1,2 m de ancho y 0,4 m entre plantas, el manejo ejecutado en el cultivo fue de acuerdo a las prácticas de producción de cada zona de estudio.

**Figura 4-1:** Condiciones ambientales para los dos municipios de estudio. a. Temperatura (°C). b. Humedad relativa (%). c. Radiación solar (MJ m<sup>2</sup>). ■ Campoalegre y ▲ Garzón.



**Tabla 4-1:** Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra para el municipio de Campoalegre y Garzón

CAMPOALEGRE												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
6,3	3,49	4,51	8	5,52	0,19	1,54	0,08	0,00	7,33	44,1	5,52	0,74
GARZÓN												
pH	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-total	Ca	K	Mg	Na	Al	ClCe	P	S	CE
	mg·kg <sup>-1</sup>			cmol· kg <sup>-1</sup>						mg·kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>
5,6	7,86	6,55	14,41	10,3	0,44	3,24	0,08	0,00	14,1	53,5	9,94	0,34

### 4.3.2 Diseño de experimentos

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 3 x 2. Se utilizaron siete tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, los cuales correspondieron a seis alternativas de fertilización y un testigo comercial. El testigo correspondió al manejo actual recomendado por la empresa Protabaco (Plaza *et al.*, 2011a) y el utilizado por el productor. Las alternativas correspondieron a la combinación de tres dosis de fertilización y dos grupos de fuentes de aplicación (**Tabla 4-2**), manteniendo para el caso de las formas de N una proporción 50:50 de NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub>. Para la dosis se tuvo en cuenta la recomendación de fertilidad de acuerdo al análisis de suelos (**Tabla 4-1**) según la metodología del ICA (1992) y Gómez, (2005), la cual corresponde al 100% (**Tabla 4-3**), 50% recomendación y 150% recomendación. Para realizar la recomendación de la cantidad de fertilizante que se aplicó los niveles de extracción para cada uno de los elementos minerales reportados por Ballari (2005) y una producción esperada de 3.200 Kg ha<sup>-1</sup>.

Los fertilizantes usados fueron:

17-9-18-3®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K:Mg:S igual a 17:9:18:3:6 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 60:40; fuente de K como sulfato de K).

SolunK®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P:K igual a 13:3:43 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 5:95).



Nitromag®, Yara, contiene los siguientes elementos en la proporción de N:Ca:Mg igual a 21:11:7,5 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 50:50).

SAM®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:S igual a 21:24 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 100:0).

Sulfato K®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de K:S igual a 50:17.

DAP®, Nutrimon, Monomeros Colombo Venezolanos S.A., contiene los siguientes elementos en la proporción de N:P igual a 18:46 (relación N-NH<sub>4</sub>:N-NO<sub>3</sub> = 100:0).

**Tabla 4-2:** Tratamientos para cada zona de estudio, en términos de cantidad por producto aplicado (Kg ha<sup>-1</sup>).

PRODUCTOS (Kg ha <sup>-1</sup> )								
Trat	ID*	Dosis	17-9-18-3	SolunK	Nitromag	SAM	Sulfato K	DAP
<b>CAMPOALEGRE</b>								
T1	a50	50	275	288	175	50		
T2	a100	100	550	575	350	100		
T3	a150	150	825	863	525	150		
T4	b50	50	550	163	75			
T5	b100	100	1100	325	150			
T6	b150	150	1650	488	225			
T7	Testigo	Tes	750	50		50	100	50
<b>GARZÓN</b>								
T1	a50	50	250	288	63	25		
T2	a100	100	500	575	125	50		
T3	a150	150	750	863	188	75		
T4	b50	50	475	125	150			
T5	b100	100	950	250	300			
T6	b150	150	1425	375	450			
T7	Testigo	Tes	790	105		155	155	

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

**Tabla 4-3:** Recomendación de fertilización para los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila

ELEMENTO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
<b>CAMPOALEGRE</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	256,1	52,7	347,5	90,7	25,7	47,39
<b>GARZÓN</b>						
<b>Requerimiento</b>	181	23	250	141	31	31
<b>Aplicación (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	254,3	52,7	279,42	90,7	25,7	44,27

Las aplicaciones de los fertilizantes se realizaron según las curvas de absorción de elementos minerales por parte de la planta (Rojo, 2008), fraccionado en dos aplicaciones, siendo éstos momentos para los dos municipios 8 ddt (días después de trasplante) y 35 ddt, momentos que coincidían con la aplicación de fertilización del testigo.

### 4.3.3 Rendimiento y calidad

Cuando las hojas alcanzaban la madurez de recolección, se cosecharon y se curaron en hornos alimentados por carbón. Después se clasificaron las hojas curadas teniendo en cuenta los parámetros de calidad física tales como piso foliar (bajeras-B, media mata-M, superior-S y corona-C) grado de maduración de la hoja, color (limón-L, naranja-N, rojo castaño-RC, verde-SG) sanidad, cuerpo o grosor de la lámina foliar, tamaño (largo), elasticidad, brillo y aroma, los cuales se reúnen en cuatro calidades (primera-1, segunda-2, tercera-3 y otras) (**Tabla 4-4**), estos parámetros fueron evaluados de manera subjetiva por expertos de la empresa Protabaco. Posteriormente, se pesaron las hojas por calidades: primeras (B1L+M1L+S1L), segundas (B2L+M2L+S2L), terceras (B3L+M3L) y otras (calidades restantes), y para el rendimiento total se sumaron todas las calidades. Debido a que la producción de calidad primera fue muy baja, se sumaron las primeras y segundas y se analizaron como una sola.

**Tabla 4-4:** Criterios del clasificador o comprador para asignar los grados a las hojas curadas de tabaco Virginia

Grado*	Piso foliar	Grado madurez	Color	% de daño lámina	Uniformidad	Tamaño (cm)	Clasificación
B1L	Parte baja de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 5%	Mínimo 95%	Mínimo 50	Primeras
B2L	Parte baja de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
B3L	Parte baja de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
M1L	Parte media de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 5%	Mínimo 95%	Mínimo 50	Primeras
M2L	Parte media de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
M3L	Parte media de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
BMG	Parte baja y media de la planta	Mezclada	Limón, naranja u oscuro	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Otras
BR	Parte baja y media de la planta	Maduro y/o ligeramente sobremaduro	Oscuros	Menos de 25%	Mínimo 90%	Mínimo 30	Otras
S1L	Parte superior de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 5%	Mínimo 95%	Mínimo 50	Primeras
S2L	Parte superior de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
S3L	Parte superior de la planta	Maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
C2L	Hojas corona	Ligeramente maduro	Limón definido	Menos de 10%	Mínimo 90%	Mínimo 40	Segundas
C3L	Hojas corona	Ligeramente maduro	Limón definido	Menos de 15%	Mínimo 85%	Mínimo 30	Terceras
SR	Parte superior de la planta	Maduro y/o ligeramente sobremaduro	Oscuros	Menos de 25%	Mínimo 90%	Mínimo 30	Otras
K4	Hojas de cualquier posición	Maduro o sobremaduro	Naranja oscuro	Menos de 30%	Mínimo 70%	Mínimo 30	Otras

\*Solo se incluye la descripción de los grados que se obtuvieron en el desarrollo del trabajo

#### 4.3.4 Costo de la fertilización

Se calculó el valor de la fertilización a partir del valor comercial de las fuentes fertilizantes (Tabla 4-5), dosis empleadas y mano de obra de los tratamientos evaluados en cada municipio de estudio. Todos las demás factores que participan dentro de la estructura de costos de producción se mantuvieron constantes en cada una de las zonas de estudio, debido a que se les realizó el mismo manejo del cultivo.

**Tabla 4-5:** Valor comercial de los fertilizantes para el año 2010.

Fuente*	Valor
17-9-18-3	\$72.000
SolunK	\$129.300
Nitromag	\$47.200
SAM	\$33.250
Sulfato K	\$105.900
DAP	\$58.400

\*Todos los fertilizantes tienen una presentación de bulto por 50 kg

#### 4.3.5 Ingreso bruto e ingreso neto

El ingreso bruto es el monto obtenido entre el rendimiento (cantidad obtenida por hectárea) y el precio de venta de cada grado de acuerdo con la calidad de hoja. El ingreso neto es la diferencia entre el ingreso bruto y el total de los costos de producción por tratamiento. El precio de venta se determinó según los grados obtenidos para cada tratamiento en el momento de la comercialización o compra de las hojas curadas y es dado por compradores de la empresa. Protobaco S.A.S maneja hasta cinco calidades, y dentro cada calidad hay diferentes precios según la clase. La diferencia promedio porcentual de precios entre clases de una misma calidad varía de la siguiente manera: 15% en 1ra calidad, 38% en 2da, 46% en 3ra y 51% en 4ta calidad. La 1ra calidad tiene 8 clases, la 2da tiene 11, la 3ra tiene 11, la 4ta (y 5ta) tiene 7 clases (Plaza *et al.*, 2011a).

#### 4.3.6 Análisis técnico y económico

Los criterios que se tuvieron en cuenta para elegir las dosis y combinaciones óptimas de fertilizantes para el tabaco Virginia fueron 1) rendimiento, 2) costo de la fertilización 3) ingreso bruto, 4) ingreso neto y 5) características de la calidad de compra. Igualmente, se realizó un análisis de económico mediante la relación beneficio-costos para todos los tratamientos, el cual resultó de dividir el ingreso bruto entre el total de costos de producción.

### 4.3.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (Anova) con el software estadístico SAS® v. 8.1e (SAS Institute Inc., Cary, NC) y cuando se presentaba significancia, se realizó prueba de comparación de medias LSD con una confiabilidad del 95%.

## 4.4 Resultados y discusión

### 4.4.1 Rendimiento

El rendimiento no presentó diferencias estadísticas entre los factores evaluados ( $P > 0,05$ ). Los mejores resultados en el municipio de Campoalegre se alcanzaron con la no utilización de sulfato de amonio a las tres dosis de aplicación (b50, b100 y b150), presentando 39%, 32% y 33% más que el testigo (**Tabla 4-6**). En Garzón los tratamientos que reportaron mayores rendimientos fueron la utilización de sulfato de amonio al 100% de la dosis (a100) (5% más que el testigo), no aplicación de SAM al 100% de la dosis (b100) (6% más que el testigo) y testigo (fertilización realizada por el productor) (**Tabla 4-6**).

**Tabla 4-6:** Rendimiento del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón.

Tratamiento	Rendimiento			
	Campoalegre		Garzón	
a50	2.714	a	2.665	a
a100	3.292	a	2.873	a
a150	2.687	a	2.585	a
b50	3.540	a	2.115	a
b100	3.371	a	2.914	a
b150	3.402	a	2.573	a
Testigo	2.556	a	2.749	a

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

Por otro lado, se puede observar que el municipio de Campoalegre presentó mayor rendimiento promedio de hojas curadas de tabaco ( $3.080 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con respecto a Garzón ( $2.640 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Resultados que coinciden con lo reportado por Plaza *et al.* (2011a),

quienes realizaron una recopilación de los reportes de rendimiento y calidad de productores proveedores de materia prima a Protabaco S.A.S de los municipios de Campoalegre y Garzón del 2005 al 2008, encontrando que Campoalegre presenta un rendimiento promedio de 2.545 Kg ha<sup>-1</sup>, 2,3% más que el promedio departamental (2.486 Kg ha<sup>-1</sup>) y un 6,2% mayor al promedio de Garzón, el cual muestra un rendimiento de 2.396 Kg ha<sup>-1</sup>, 3,6% menor al promedio departamental.

#### 4.4.2 Calidad de compra

En las **Tabla 4-7** y **Tabla 4-8** se presentan la producción de hoja curada de acuerdo a la calidad de compra para los dos municipios de estudio. En cuanto a los grados que presentaron la mayor producción para cada uno de los tratamientos, en Campoalegre, se observó que el grado S2L (ver características en **Tabla 4-4**) presentó los mayores aportes en producción para los tratamientos con dosis del 150% de la recomendación (a150 y b150) con valores de 26% y 33% respectivamente. S3L (ver características en **Tabla 4-4**) presentó los mayores porcentajes para los tratamientos con dosis del 50% de la fertilización (a50 y b50), no utilización de sulfato de amonio al 100% de la dosis (b100) y testigo con valores de 45%, 38%, 44% y 29% respectivamente. Y el grado SR (ver características en **Tabla 4-4**) tuvo la mayor producción para los tratamientos donde se aplicó SAM al 100 y 150% de la dosis (a100 y a150) con porcentajes de participación del 41% y 26% respectivamente (**Tabla 4-7**).

**Tabla 4-7:** Producción de hoja curada (Kg ha<sup>-1</sup>) de acuerdo a la calidad de compra en el municipio de Campoalegre, Huila.

Trat	B1L	M1L	B2L	M2L	S2L	B3L	M3L	S3L	BR	K4	SR
a50	23		98		260	29	112	1208	251	273	460
a100			92	48	282	73	131	788	224	288	1365
a150		53		35	711	42	24	496	224	393	710
b50		62		146	373		32	1339	414	392	783
b100			50	270	110	57	131	1491	405	340	517
b150		16	76	48	1139		92	428	171	609	823
Testigo			70	48	680	13	31	733	155	228	596

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

En Garzón, se observó que el grado S2L (ver características en **Tabla 4-4**) presentó los mayores valores en producción para los tratamientos con utilización de sulfato de amonio al 50 y 150% de la recomendación (a50 y a150) y la no utilización de SAM al 100 y 150% de la dosis (b100 y b150), con valores de 21%, 37%, 23% y 31% respectivamente. El grado M3L (ver características en **Tabla 4-4**) presentó los mayores aportes en producción para los tratamientos con no utilización de sulfato de amonio al 50% de la dosis (b100) y testigo con valores de 25% y 18% respectivamente. Y M2L (ver características en **Tabla 4-4**) tuvo la mayor producción para el tratamiento con aplicó SAM al 100 de la dosis (a100) con una participación del 22% (**Tabla 4-8**).

**Tabla 4-8:** Producción de hoja curada (Kg ha<sup>-1</sup>) de acuerdo a la calidad de compra en el municipio de Garzón, Huila.

Trat	B1L	S1L	B2L	M2L	S2L	C2L	B3L	M3L	S3L	C3L	BGM	BR	K4	SR
a50		82		393	549			336	146			453	235	472
a100		80	20	631	605	68	21	159	65	22		437	161	603
a150					945	55	16	340	54			293	159	723
b50		83	42	244	221	15	39	535	142		10	288	271	225
b100		86		438	665			316	65	36		428	346	532
b150		181		72	793	73		227		18		435	151	624
Testigo	156	86	324	435	392		112	492		37		262	197	256

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

#### 4.4.3 Costo de la fertilización

El costo de la fertilización presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $P > 0,01$ ). Para los dos municipios los costos más altos se presentaron en los tratamientos con dosis del 150% de la fertilización, donde el tratamiento con utilización de SAM presentó el mayor valor 157% y 92% más que el testigo para Campoalegre y Garzón respectivamente (**Tabla 4-9**). Este se debe a que en estos tratamientos hay mayor aplicación de SolunK, fertilizante que presenta el mayor costo por bulto de 50 kg (**Tabla 4-5**). El tratamiento con menor costo de fertilización fue la no utilización de sulfato de amonio al 50% de la dosis, siendo 0,3% (Campoalegre) y 27% (Garzón) menos costoso que el testigo para ambos municipios (**Tabla 4-9**).

**Tabla 4-9:** Costo de la fertilización del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón.

Tratamiento	Costo (\$ ha <sup>-1</sup> )			
	Campoalegre		Garzón	
a50	\$ 1.738.214	e	\$ 1.480.795	f
a100	\$ 3.076.429	c	\$ 2.661.590	c
a150	\$ 4.414.643	a	\$ 3.842.385	a
b50	\$ 1.712.367	g	\$ 1.449.492	g
b100	\$ 3.024.735	d	\$ 2.598.983	d
b150	\$ 4.337.102	b	\$ 3.748.475	b
Testigo	\$ 1.717.802	f	\$ 1.996.881	e

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM

La fertilización representa entre el 15% y el 26% de los costos de producción del tabaco para el departamento del Huila (Garay, 2008; Plata *et al.*, 2011a); esta alta participación hace que sea importante disminuir o al menos mantener dicho costo mejorando la rentabilidad de los cultivos, lo cual es fundamental en la sostenibilidad del sistema productivo (Marín *et al.*, 2008).

#### 4.4.4 Análisis técnico y económico

Teniendo en cuenta el rendimiento, el costo de la fertilización, el ingreso bruto, el ingreso neto y las características de la calidad de compra, se pudo observar que para el municipio de Campoalegre los mejores resultados se alcanzaron con los tratamientos b50, b100 y b150, los cuales corresponden a la recomendación de fertilización con 17-9-18-3, SolunKP y Nitromag a las tres dosis de aplicación (50%, 100% y 150%). Dentro de las alternativas anteriores, la alternativa b50 presenta el mayor rendimiento, el menor costo de fertilización, alto porcentaje de terceras y mayor ingreso bruto y neto, la alternativa b100 muestra alto rendimiento, el mayor porcentaje de terceras, costo intermedio e ingreso intermedio, y la alternativa b150, alto rendimiento, el mayor costo, el mayor porcentaje de segundas e ingreso intermedio. Las otras alternativas presentan rendimientos e ingresos menores y variación en la calidad de compra (**Tabla 4-10**).



**Tabla 4-10:** Resultados técnicos y económicos de las alternativas de fertilización de los ensayos en Campoalegre.

Trat	Rendimiento (Kg ha <sup>-1</sup> )	Costo de la fertilización (\$ ha <sup>-1</sup> )	Ingreso bruto (\$)	Ingreso neto (\$)	Calidad de compra (%)			
					1era	2da	3ra	Otras
a50	2.714	\$ 1.738.214	\$ 12.968.685	\$ 1.255.597	0,8	13,2	49,7	36,3
a100	3.292	\$ 3.076.429	\$ 15.107.903	\$ 2.056.600	0,0	12,8	30,2	57,0
a150	2.687	\$ 4.414.643	\$ 12.894.922	(\$ 1.494.595)	2,0	27,8	20,9	49,4
b50	3.540	\$ 1.712.367	\$ 16.849.832	\$ 5.162.591	1,8	14,6	38,7	44,9
b100	3.371	\$ 3.024.735	\$ 16.059.435	\$ 3.059.826	0,0	12,8	49,8	37,4
b150	3.402	\$ 4.337.102	\$ 16.493.125	\$ 2.181.149	0,5	37,1	15,3	47,1
Tes	2.556	\$ 1.717.802	\$ 12.581.965	\$ 889.289	0,0	31,2	30,4	38,3

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM, tes: testigo

En Garzón los tratamientos a100, b100 y testigo alcanzaron los mejores resultados con sus respectivas diferencias en costos, rendimientos y porcentaje de la calidad de compra. El tratamiento a100, corresponde a la aplicación de 17-9-18-3, SolunKP, SAM y Nitromag al 100% de la dosis, esta presenta alto rendimiento, el mayor costo, el mayor porcentaje de segundas, mayor ingreso bruto e ingreso neto intermedio. El tratamiento b100, corresponde a la aplicación de 17-9-18-3, SolunKP y Nitromag (100% de la dosis), esta alternativa muestra el mayor rendimiento, alto porcentaje de segundas, costo intermedio e ingresos intermedio. El testigo, fertilización realizada por el productor tabacalero, aplicando 17-9-18-3, SolunKP, SAM y Sulfato de potasio, la cual tiene alto rendimiento, menor costo, alto porcentaje de segundas, ingreso bruto intermedio y el mayor ingreso neto. Las otras alternativas presentan rendimientos e ingresos menores y variación en la calidad de compra (**Tabla 4-11**).

El análisis de la relación beneficio/costo, el cual es útil como criterio económico para el productor puesto que permite estimar los ingresos recibidos por cada unidad monetaria invertida en fertilizantes (Flórez *et al.*, 1978; López, 1997), debido a que el mejor tratamiento en términos financieros es aquel con la relación más alta beneficios a costos, se puede observar en la **Tabla 4-12** que para el municipio de Campoalegre el mejor tratamiento es la no aplicación de sulfato de amonio al 50% de la dosis (b50), debido a

que por cada peso invertido se obtiene un beneficio de 1,44 pesos. Para Garzón, el mejor tratamiento es el testigo, ya que se obtiene 1,15 pesos por cada peso invertido.

**Tabla 4-11:** Resultados técnicos y económicos de las alternativas de fertilización de los ensayos en Garzón.

Trat	Rendimiento (Kg ha <sup>-1</sup> )	Costo de la fertilización (\$ ha <sup>-1</sup> )	Ingreso bruto (\$)	Ingreso neto (\$)	Calidad de compra (%)			
					1era	2da	3ra	Otras
a50	2.665	\$ 1.480.795	\$ 13.178.271	\$ 1.465.668	3,1	35,3	18,1	43,5
a100	2.873	\$ 2.661.590	\$ 14.476.347	\$ 1.582.949	2,8	46,1	9,3	41,8
a150	2.585	\$ 3.842.385	\$ 12.669.267	(\$ 1.404.926)	0,0	38,7	15,9	45,4
b50	2.115	\$ 1.449.492	\$ 10.236.369	(\$ 1.444.931)	3,9	24,7	33,8	37,6
b100	2.914	\$ 2.598.983	\$ 14.364.607	\$ 1.533.816	3,0	37,9	14,3	44,8
b150	2.573	\$ 3.748.475	\$ 12.810.088	(\$ 1.170.195)	7,0	36,4	9,5	47,0
Tes	2.749	\$ 1.996.881	\$ 14.017.041	\$ 1.788.352	8,8	41,9	23,3	26,0

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM, tes: testigo

**Tabla 4-12:** Relación beneficio/costo de las alternativas de fertilización para Campoalegre y Garzón, Huila.

Tratamiento	B/C	
	Campoalegre	Garzón
a50	1,11	1,13
a100	1,16	1,12
a150	0,90	0,90
b50	1,44	0,88
b100	1,24	1,12
b150	1,15	0,92
Testigo	1,08	1,15

\*a: utilización de SAM, b: no utilización de SAM





## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que las variables fisiológicas de la planta de tabaco Virginia se ven afectadas por los tratamientos evaluados, principalmente en etapas tempranas de desarrollo del cultivo.

La fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración del cultivo de tabaco se vieron afectadas principalmente por el municipio de evaluación, donde Campoalegre presentó los mayores valores de estas variables.

En cuanto al contenido de clorofila total, clorofila a y b, las aplicaciones con altas dosis de fertilización presentaron los mayores valores, pero menor relación a/b.

En etapa de crecimiento rápido, la fotosíntesis neta alcanzó el mayor valor a la dosis recomendada independiente de la fuente fertilizante.

En etapa de crecimiento lento, la conductancia estomática alcanzó el mayor valor a la mayor dosis cuando no se utilizó sulfato de amonio como fertilizante, por otro lado la transpiración el mayor valor a la dosis recomendada cuando se utilizó SAM como fertilizante.

El tratamiento con mayor eficiencia fotosintética fue la utilización de SAM al 150% de la dosis en el municipio de Garzón.

Para este trabajo se puede concluir que en el cultivo de tabaco Virginia la aplicación de diferentes dosis y fuentes de fertilización tienen un efecto en la acumulación foliar de elementos.

La concentración foliar de elementos durante la etapa de desarrollo vegetativo aumenta a través del tiempo y los mayores valores se encuentran en etapa de floración; sin embargo durante la cosecha, los contenidos de K, Mg y Cl disminuyen a través del tiempo.

En cuanto a las dosis de aplicación, se observa que N, P, K, Ca y Mg presentan las mayores concentraciones en etapa de floración con las dosis de fertilización más altas (100 y 150%).

Para potasio, el tratamiento que muestra la mayor acumulación en tabaco fue la no utilización de SAM al 150% de la dosis de fertilización en el municipio de Campoalegre.

Para tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón, los elementos de mayor acumulación fueron nitrógeno, potasio y calcio.

Para este trabajo se puede concluir que en el cultivo de tabaco Virginia la aplicación de diferentes dosis y fuentes de fertilización tienen un efecto principalmente en la calidad, debido a que el rendimiento no presentó diferencias.

Para Campoalegre la no utilización de sulfato de amonio (SAM) a las tres dosis evaluadas presentaron los mayores valores de rendimiento, mientras que en Garzón los tres tratamientos con los valores más altos de este parámetro se presentaron en la dosis del 100% de la recomendación de la fertilización con y sin la aplicación de sulfato de amonio, además del tratamiento testigo, sin diferencias significativas.

Para las calidades, la suma de las calidades primeras y segundas, presentó diferencias significativas en la interacción municipio-dosis, donde el testigo de Garzón, alcanzó los mayores valores de rendimiento. Por el contrario, para la tercera calidad, se presentaron diferencias solo para municipio siendo Campoalegre el que presentó los mayores valores.

El principal factor que afectó los parámetros físicos de calidad fue el municipio de evaluación, donde Garzón presentó mayores valores para todas las variables excepto porcentaje de lámina.

En los parámetros químicos, el contenido de nicotina presentó diferencias para las hojas superiores y bajas, presentándose mayor contenido de nicotina a las dosis más altas de fertilización. El contenido de azúcar se vio afectado principalmente por el factor municipio en los pisos foliares bajos y media mata y en la sumatoria de las calidades primeras y segundas, donde Campoalegre fue el que presentó los mayores contenidos de esta variable.

Las conclusiones de este trabajo muestran que el municipio de Campoalegre presentó mayor rendimiento promedio de hojas curadas de tabaco ( $3.080 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con respecto a Garzón ( $2.640 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Los grados de mayor participación en la producción para el municipio de Campoalegre fueron S2L, S3L y SR. Para Garzón fueron S2L, M3L y M2L.

Para los dos municipios los costos más altos se presentaron en los tratamientos con dosis del 150% de la fertilización, donde el tratamiento con utilización de SAM presentó el mayor valor.

Para el municipio de Campoalegre, los mayores rendimientos se obtuvieron con la no utilización de sulfato a las tres dosis de aplicación. Para Garzón, los mayores rendimientos se obtuvieron con la dosis al 100% con y sin aplicación de sulfato de amonio y el testigo comercial.

La mejor relación beneficio-costo en el municipio de Campoalegre se obtuvo con el tratamiento b50, en el cual no hay aplicación de sulfato de amonio al 50% de la dosis. En Garzón se obtuvo con el testigo.







## Bibliografía

- Abubakar, Y., J.H. Young, W.H. Johnson y W.W. Weeks. 2000. Changes in moisture and chemical composition of flue-cured tobacco during curing. *Tobacco Science*. 44, 51-58.
- Agrocadenas. 2004. Cadena del tabaco. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia
- Agrocadenas. 2005. La cadena del tabaco en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia.
- Agrocadenas. 2006. Indicadores de competitividad para Tabaco. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia.
- Al-Kaisi, M. M., and X. Yin. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal*. 95, 1475–1482.
- ANETAB. Asociación Nacional de Empresas Transformadoras de Tabaco. 2001. Notas sobre la calidad del tabaco Virginia en España: Consideraciones
- Azcón-Bieto, J., A. Pardo, N. Gómez-Casanovas, J.J. Irigoyen y M. Sánchez-Díaz. 2004. Capítulo 28: Respuestas de la fotosíntesis y la respiración en un medio ambiente variable. pp. 873-900. En: Reigosa M.J., N. Pedrol, A. Sánchez (eds.). *La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis*. Thomson Editores Spain. España.
- Ballari, M.H. 2005. *Tabaco Virginia: Aspectos ecofisiológicos de la nutrición en condiciones de cultivo*. Ed Alejandro Graziani S.A. Córdoba. Argentina. 223 pp.

- Bao, L. 1997. Significance of Balanced Fertilization Based on Long-Term Fertilizer Experiments. *Better Crops International*. 11, 1: 8-9.
- Barbazán, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo – Uruguay. 27 p. En: <http://www.fagro.edu.uy>.
- Barreneche, A. 1997. Usos del tabaco. Sistemas & Computadores Ltda. Bucaramanga, Colombia. 68 p.
- Bednarz, C.W., D.M. Oosterhuis y R.D. Evans. 1998. Leaf photosynthesis and carbon isotope discrimination of cotton in response to potassium deficiency. *Environmental and Experimental Botany*. 39, 131–139
- Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallai, S. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur y M.C. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars “Meski” and “Koroneiki.” *Scientia Horticulturae*. 123(3), 336-342.
- Broadley, M.R., A.J. Escobar-Gutiérrez, A. Burns y I.G. Burns. 2000. What are the effects of nitrogen deficiency on growth components of lettuce? *New Phytol*. 147, 519–526.
- C.C.I. Corporación Colombia Internacional. 2001. Acuerdo De competitividad de la Cadena productiva del tabaco en Colombia. Bogotá.
- Cai R., M. Zhang, Y. Yin, P. Wang, T. Zhang, F. Gu, Z. Dai, T. Liang, Y. Wu y Z. Wang. 2008. Photosynthetic Characteristics and Antioxidative Metabolism of Flag Leaves in Responses to Nitrogen Application During Grain Filling of Field-Grown Wheat. *Agricultural Sciences in China*. 7(2), 157-167.
- Cai, Z.C. y S.W. Qin. 2006. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Geoderma*. 136, 708–715.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal Plant Nutrition. Soil Science*. 168, 521-530.
- Campbell, C.R. 2000. Flue-cured tobacco. In: Campbell CR, editor. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. Raleigh (NC): NC Dept of Agriculture & Consumer Services. Southern Cooperative Series Bulletin 394. [[www.ncagr.com/agronomi/saaesd/fluecure.htm](http://www.ncagr.com/agronomi/saaesd/fluecure.htm)]

- Cao, Z.H., X.R., Zhou, Z.L. Li, Y.X. Lin, Y.W. Zhu, E.P. Wang y Z.S. Zhao. 1991. Potassium concentration of flue-cured tobacco leaves in China and its relation to tobacco-growing soil environment. In: Cao, Z.H. (Ed.), Soil and Fertilization in the Production of Superior Flue-cured Tobacco. Jiangsu Science and Technology Press, Nanjing, China, pp. 17-28.
- Castellanos, O. y M. Montañez. 2006. Estudio prospectivo en la cadena productiva del tabaco colombiana. IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; MADR - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Universidad Nacional de Colombia - BioGestión. 140 p.
- Castellanos, O., L.M. Torres y D.M. Rodríguez. 2009. Desarrollo tecnológico e innovación de la cadena productiva del tabaco: prospectiva - visión 2018. Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación y desarrollo en gestión, productividad y competitividad – BioGestión. 183 p.
- Cechin C. y T. De Fátima-Fumis. 2004. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. *Plant Sci.* 166, 1379-1385.
- Chavarría, J. 2007. Curvas de absorción de nutrientes en tabaco (*Nicotiana tabacum*), Var. Criollo bajo condiciones de manejo de campo en Jalapa, Nicaragua. Proyecto especial del programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 45p.
- Chaverri, R. 1995. El cultivo de tabaco. Editorial Universal Estatal a Distancia EUNED. San José, Costa Rica. 13-35pp.
- Chouteau, J. y D. Fauconier. 1993. Fertilizando para alta calidad y Rendimiento: Tabaco. Instituto internacional de la Potasa. CH- 4001 Basilea/ Suiza. 58 pp
- Ciampi, S., E. Gentili, L. Guidi y G.F. Soldatini. 1996. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. *Plant Sci.* 118, 177–184.
- Clarkson, D.T. 1985. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36, 77-115.
- Collins, W. K. y S.N, Hawks Jr. 1994. Principles of Flue-Cured Tobacco Production. North Carolina State University, Raleigh, NC. pp. 23-98.

- Coresta, 2009. A scale for coding growth stages un Tobacco crops. CORESTA Guide N° 7.
- CORESTA, 2010. CORESTA recommended method N° 37. Determination of reducing substances in tobacco by continuous flow analysis. En: [http://www.coresta.org/Recommended Methods/CRM\\_37-update\(Aug10\).pdf](http://www.coresta.org/Recommended-Methods/CRM_37-update(Aug10).pdf), consulta: diciembre de 2010.
- CORESTA. 1968. CORESTA recommended method N° 20. Determination of alkaloids in manufactured tobacco. En: [http://www.coresta.org/Recommended Methods/CRM\\_20.pdf](http://www.coresta.org/Recommended-Methods/CRM_20.pdf), consulta: diciembre de 2010.
- Correia C.M., J.M. Mouthino-Pereira, F.J. Coutinho, L.O. Björn y J.M.G. Torres-Pereira. 2005. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. *Eur J Agronomy*. 22, 337-347.
- Court W.A. y J.M. Elliot. 1978. Influence of nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium on the phenolic constituents of flue-cured tobacco. *Canadian Journal of Plant Science*. 58: 543-548.
- Crafts-Brandner, S.J., M.E. Salvucci, J.L. Sims y T.G. Sutton. 1990. Phosphorus nutrition influence on plant growth and nonstructural carb bohydrate accumulation in tobacco. *Crop Sci*. 30, 609-614.
- Dong, H, W. Tang, Z. Li y D. Zhang. 2004. On potassium deficiency in cotton – disorder, cause and tissue diagnosis. *Agriculturae Conspectus Scintificus*. 69(2), 77-85.
- Drossopoulos, J.B., D.L. Bouranis, S. Kintsios, G. Aivalakis, J. Karides, S.N. Chorianopoulou y C. Kitsaki. 1999. Effect of nitrogen fertilization on distribution profiles of selected macronutrients in oriental field-grown tobacco plants. *Journal of Plant Nutrition*. 22 (3), 527-541.
- Edwards, P.B., W.D. Smith, L.R. Fisher y M.D. Boyette. 2005. The effect of management practices on grade distribution in flue-cured tobacco. Ph.D. Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, NC. 102 p.
- Elliot, J.M y M.E. Back. 1963. Effects of potassium and chlorine on the production of tobacco seedling, *Can. J. Soil. Sci.* 43, 268-274

- ENA – Encuesta Nacional Agropecuaria. 2009. Oferta Agropecuaria. ENA Cifras 2009. MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, CCI-Corporación Colombia Internacional. <http://www.agronet.gov.co/>.
- Espinal, C.F., H.J. Martínez, N. Pinzón y C.A. Barrios. 2005. La cadena del tabaco en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de Trabajo No. 55. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. 42 p.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C3 plants. *Oecología*. 78, 9-19.
- Faostat, 2009. Anuario estadístico de la FAO 2007-2008. <http://faostat.fao.org/>
- Farrokh, R., I. Azizov, A. Farrokh, M. Esfahani, M. Rangbar y M. Kavosi. 2012. The Effect of Nitrogen and Potassium Fertilizer on Yield and Mineral Accumulation in Flue-Cured Tobacco. *Journal of Agricultural Science*. 4 (2), 167-178.
- Fisher L.R. y W.D. Smith. 2009. Selecting a Variety. En: *Flue-cured Tobacco guide*. North Carolina Agricultural Research Service, NC State University North Carolina Cooperative Extension. Printed by North Carolina Tobacco Foundation Inc. The Foundation
- Flórez, V., J.G. Acosta y J. Navas. 1978. Análisis agroeconómico de la fertilización en cultivos. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. Tibaitata, Cundinamarca. 66-76 pp.
- Flórez, V.J. y R.M. Cruz. 2004. Guía de laboratorio de fisiología vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. 64 p.
- Fontes, P.C.R., P.R.G. Pereira y R.M. Conde. 1997. Critical chlorophyll, total nitrogen, and nitrate-nitrogen in leaves associated to maximum lettuce yield. *Journal of Plant Nutrition*. 20(9), 1061-1068.
- Fuqua, B.D. J.L. Sims, J.E. Leggett, J.F. Benner y W.O. Atkinson. 1976. Nitrate and chloride fertilization effects on yield and chemical composition of burley tobacco leaves and smoke. *Can. J. Plant Sci*. 56: 893-899.
- Garay, J. 2008. Anuario Estadístico Agropecuario, año 2008. Secretaría de Agricultura y Minería. Gobernación del Huila. Neiva, Huila. 307 p.
- Gastal, F. y G. Lemaire. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot*. 53(370), 789-799

- Geiger, M., V. Haake, F. Ludewig, U. Sonnewald y M. Stitt. 1999. The nitrate and ammonium nitrate supply have a major influence on the response of photosynthesis, carbon metabolism, nitrogen metabolism and growth to elevated carbon dioxide in tobacco. *Plant Cell Environ.* 22 (10), 1177–1199.
- Gerardeaux, E., L. Jordan-Meille, J. Constantin, S. Pellerin y M. Dingkuhn. 2010. Changes in plant morphology and dry matter partitioning caused by potassium deficiency in *Gossypium hirsutum* (L.). *Environmental and Experimental Botany.* 67, 451–459
- Gómez, M.I. 2005. Guía técnica para el manejo nutricional de los cultivos: Diagnóstico, interpretación y recomendación de planes de fertilización. Seminario-Taller Microfertisa.
- González, S., H. Perales y M.O. Salcedo. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica.* 27(4), 119-129.
- González-Murua, C., M.B. González-Moro y J.M. Estavillo. 2004. Capítulo 13: Nitrógeno, agricultura y medio ambiente. pp. 387-412. En: Reigosa M.J., N. Pedrol, A. Sánchez (eds.). *La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis.* Thomson Editores Spain. España.
- Graciano, C., Goya, J.F., Frangi, J.L., Guiamet, J.J., 2006. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecol. Manage.* 236, 202–210.
- Guardo, N. 2006. Tabaco Virginia. Manejo de suelos y fertilización del cultivo. Departamento Agrotécnico COPROTAB, <http://www.fertilizando.com>; consulta: marzo de 2011.
- Guidi, L., G. Loreface, A. Pardossi, F. Malorgio, F. Tognoni y G.F. Soldatini. 1998. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* (L) plants as affected by nitrogen deficiency. *Biol. Plantarum.* 40, 235-244
- Guo, H.X., W.Q. Liu y Y.C. Shi. 2006. Effects of different nitrogen forms on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence induction kinetics of flue-cured tobacco. Brief communication. *Photosynthetica.* 44 (1): 140-142.

- Gurumurthy, K.T. y T.S. Vageesh. 2007. Leaf yield and nutrient uptake by FCV tobacco as influenced by K and Mg nutrition. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 20 (4), 741-744.
- Gusewell, S., U. Bollens, P. Ryser y F. Klotzli. 2003. Contrasting effects of nitrogen, phosphorus and water regime on first- and second-year growth of 16 wetland plant species. *Functional Ecology*. 17 (6), 754-765.
- Haghighi, H., M.S. Daliri, H.R. Mobaser y A.A. Moosavi. 2011. Effect of Different Nitrogen and Potassium Fertilizer Levels on Quality and Quantity Yield of Flue-Cured Tobacco (Coker 347). *World Applied Sciences Journal*. 15 (7), 941-946.
- Hermans, C., J.P. Hammond, P.J. White y N. Verbruggen. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation?. *TRENDS in Plant Science*. 11(12), 610-617.
- Hernández, E.I., A. Vilagrosa, V.C. Luis, M. Llorca, E. Chirino, y V. R. Vallejo. 2009. Root hydraulic conductance, gas exchange and leaf water potential in seedlings of *Pistacia lentiscus* L. and *Quercus suber* L. grown under different fertilization and light regimes. *Environmental and Experimental Botany*. 67, 269-276.
- Hirai, M.Y., M. Yano, D.B. Goodenowe, S. Kanaya, T. Kimura, M. Awazuhara, M. Arita, T. Fujiwara, y K. Saito. 2004. Integration of transcriptomics and metabolomics for understanding of global responses to nutritional stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 101, 10205–10210.
- Hossain, D., M. Hanafi, y J. Talib. 2010. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*. 2(2), 49-57.
- Huifang, S. y X. Zicheng. 2011. Relationship between the calcium content in soil and the calcium content of flue-cured tobacco in Enshi tobacco-growing area. *African Journal of Agricultural Research*. 6(12), 2788-2793.
- Hurtado, R., C. Forero, L. Ortiz, A. Fernández, J. García y C. Leon. 2007. Evaluación edafoclimática del tabaco rubio: Burley y Virginia. CORPOICA. 82 p.
- ICA - Instituto Colombiano Agropecuario. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia técnica No. 25. Produmedios. Colombia. Pp 64.
- Ishizaki, H. y T. Akiya. 1978. Effects of chlorine on growth and quality of tobacco. *Jarq*. 12 (1), 1-6.



- Islam, N., G. Grindal Patil, S. Torre y H.R. Gislerød. 2004. Effects of relative air humidity, light, and calcium fertilization on tipburn and calcium content of the leaves of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. Nordiska jordbruksforskarens förening (NJF)
- Jiang, F., C.J. Li, W.D. Jeschke y F.S. Zhang. 2001. Effect of top excision and replacement by 1-naphthylacetic acid on partition and flow of potassium in tobacco plants. *J. Exp. Bot.* 52, 2143–2150.
- Jose, S., S. Merritt y C.L. Ramsey. 2003. Growth, nutrition, photosynthesis and transpiration responses of longleaf pine seedlings to light, water and nitrogen. *Forest Ecology and Management.* 180(1-3), 335-344.
- Ju, X.T., F.C. Chao, C.J. Li, R.F. Jiang, P. Christie y F.S. Zhang. 2008. Yield and nicotine content of flue-cured tobacco as affected by soil nitrogen mineralization. *Pedosphere.* 18 (2), 227-235.
- Kanai, S., R.E. Moghaieb, H.A. El-Shemy, R. Panigrahi, P.K. Mohapatra, J. Ito, N.T. Nguyen, H. Saneoka y K. Fujita. 2011. Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green house tomato prior to its effects on source activity. *Plant Sci.* 180, 368–374.
- Karaivazoglou, N.A. D.K. Papakosta y S. Divanidis. 2005. Effect of chloride in irrigation water and form of nitrogen fertilizer on Virginia (flue-cured) tobacco. *Field Crops Research.* 92, 61–74.
- Karaivazoglou, N.A., D.K. Papakosta y S. Divanidis. 2006. Effect of chloride in irrigation water on oriental (sun-cured) tobacco. *Journal of Plant Nutrition.* 29 (8), 1413- 1431.
- Karaivazoglou, N.A., N.C. Tsitsolis y C.D. Tsadilas. 2007. Influence of liming and form of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, growth, yield and quality of Virginia (flue-cured) tobacco. *Field Crops Res.* 100 (1), 52–60.
- Karkanis, A., D.Bilalis y A. Efthimiadou. 2007. The effect of green manure and irrigation on morphological and physiological characteristics of Virginia (Flue-Cured) organic tobacco (*Nicotiana tabacum*). *International journal of agricultural research.* 2 (11), 910-919.
- Kowalczyk-Juśko, A. y B. Kościuk. 2002. Possible use of the chlorophyll meter (SPAD - 502) for evaluating nitrogen nutrition of the virginia tobacco. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Agronomy.* 5 (1). En: <http://www.ejpau.media.pl/>

- Kumar, D., B.P. Singh y P. Kumar. 2004. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Ann. appl. Biol.* 145, 247-256.
- Lambers, H., F.S. Chapin III y T.L. Pons. 2008. Plant physiological ecology. Second edition. Springer Science + Business Media. 604 p.
- Lamsfus, C., B. Lasa, P.M. Aparicio-Tejo e I. Irigoyen. 2004. Capítulo 12: Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada. pp. 361-386. En: Reigosa M.J., N. Pedrol y A. Sánchez (eds.). La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis. Thomson Editores Spain. España.
- Lazcano-Ferrat, I. 2006. El Potasio y el Concepto de la Fertilización Balanceada. Extracto de la ponencia presentada en la conferencia regional para México y el Caribe de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. INPOFOS/PPI. México. 5 p. En: <http://www.agriculture.com/contents/ppi/ppiindex.html>, consulta: diciembre de 2011.
- León, C.E. y R.A. Coronado. 2006. Fertilización orgánica y manejo del suelo en el sistema de producción tabaco asociado a frijol en Santander. Corpoica y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bucaramanga, Santander, Colombia. 12 p.
- Lin, Z.-H., L.-S. Chen, R.-B. Chen, F.-Z. Zhang, H.-X. Jiang y N. Tang. 2009. CO<sub>2</sub> assimilation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of tea leaves in response to phosphorus supply. *BMC Plant Biology*. 9:43
- Lin, Z.H., Y.P. Qi, R.B. Chen, F.Z. Zhang y L.S. Chen. 2012. Effects of phosphorus supply on the quality of green tea. *Food Chemistry*. 130, 908–914.
- Liu, W.Q., H.X. Guo y L. Hao. 2008. Proteomics Identification of Differentially Expressed Proteins Relevant for Nicotine Synthesis in Flue-Cured Tobacco Roots Before and After Decapitation. *Agricultural Sciences in China*. 7(9), 1084-1090.
- López, L. 2002. Cultivos industriales. Editorial Mundi-Prensa Libros S.A. Madrid. 1067 p.
- López, N. 1997. Proyectos agropecuarios. Teoría y casos productivos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 45-77 pp.
- López-Lefebvre, L.R., R.M. Rivero, P C. García, E. Sánchez, J.M. Ruiz y L. Romero. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *Journal of Plant Nutrition*. 25(3), 509–522.

- López-Lefebvre, L.R., R.M. Rivero, P.C. García, E. Sánchez, J.M. Ruiz y L. Romero. 2001. Effect of calcium on mineral nutrient uptake and growth of tobacco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81, 1334-1338.
- Lu, C. y J. Zhang. 2000. Photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*. 151, 135–143
- Lu, Y.X., C.J. Li y S. Zhang. 2005. Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. *Annals of Botany*. 95, 991-998.
- MADR y CCI 2009. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Secretarías de Agricultura Departamentales - UMATA. Años 2006, 2007 y 2008. Convenio MADR – CCI (Corporación Colombia Internacional). En: DNP. Dirección Nacional de Planeación. 2008. Anuario estadístico del sector Agropecuario año 2008. [www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co).
- Marambe, B. y R. Sangakkara. 2008. Evaluation of different nitrogen fertilizer techniques on emergence and growth of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seedlings. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 161 (4), 273 – 276.
- Marchand, M. 2010. Effect of Potassium on the Production and Quality of Tobacco Leaves. Research Findings. International Potash Institute. *e-ifc*. 24, 7-14.
- Marchetti, R., F. Castelli y R. Contillo. 2006. Nitrogen requirements for flue-cured tobacco. *Agronomy journal*. 98, 666–674.
- Marín, N. G. Plaza y J. Rojas. 2008. Evaluación técnica y económica de alternativas de fertilización y enmiendas en tabaco Virginia (*Nicotiana tabacum*) en la región García Rovira, Santander (Colombia). *Agronomía Colombiana*. 26(3): 505-516.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press Edition. London. 889pp.
- McCants, C.B. y W.G. Woltz. 1967. Growth and mineral nutrition of tobacco. *Adv. Agron.* 19, 211–265.
- Miller, R.J., G.W. Langdale y D.L. Myhre. 1967. Leaf Area Indices and Nitrogen Uptake of Flue-Cured Tobacco as Affected by Plant Density and Nitrogen Rate. *Agron J.* 59, 409-412.

- Miner G.S. y M.R. Tucker. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing tobacco, In: Westerman R.L. (ed.): Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition, SSSA Book Ser. 3. SSSA (Soil Science Society of America), Madison, WI, USA. 645-657 pp.
- Minotta, G. y S. Pinzauti. 1996. Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*. 86, 61-71.
- Montoya, R., R. Cabrales y J. Rivera. 2005. Fertilización y deficiencias. Diagnóstico a problemas nutricionales de cultivos en el trópico colombiano. Primera edición. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. 196 p.
- Moustakas, N.K. y H. Ntzanis. 2005. Dry matter accumulation and nutrient uptake in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Field Crops Research*. 94, 1-13.
- Naeem, M., M.M.A. Khan, Moinuddin, M. Idrees y T. Aftab. 2010. Phosphorus ameliorates crop productivity, photosynthetic efficiency, nitrogen-fixation, activities of the enzymes and content of nutraceuticals of *Lablab purpureus* L. *Scientia Horticulturae*. 126, 205–214.
- Niinemets, Ü. 2007. Photosynthesis and resource distribution through plant canopies. *Plant, Cell and Environment*. 30, 1052–1071.
- O'Toole, J.C., K. Treharne, M. Turnipseed, K. Crookston y J. Ozbun. 1980. Effect of Potassium Nutrition on Leaf Anatomy and Net Photosynthesis of *Phaseolus vulgaris* L. *New Phytologist*. 84 (4), 623-630.
- Parker, R.G. 2009. Evaluation of Nitrogen Sources and Rates on Yield and Quality of Modern Flue-Cured Tobacco Cultivars. A dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy Crop Science. Raleigh, NC.
- Pengda, Y., Z. Wenxu, Z. Huihui, S. Guangyu, Jiao Yusheng, Z. Guangwei y L. Deyu. 2011. Research on optimized fertilization for filling type Flue-cured tobacco base on partial least-squares regression. 2011 Forth International conference on intelligent computation technology and automation
- Pervez, H., M. Ashraf y M.I. Makhdom. 2004. Influence of potassium on gas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Photosynthetica*. 42, 251-255.

- Pieters, A.J., M.J. Paul y D.W. Lawlor. 2001. Low sink demand limits photosynthesis under Pi deficiency. *Journal of Experimental Botany*. 52 (358), 1083-1091.
- Pinkerton, A. 1972. Recovery of flue-cured tobacco from magnesium deficiency: changes in leaf magnesium content and effects on leaf quality. *Australian Journal of Agricultural Research*. 23 (4), 641 – 649.
- Plaza, G., J.C. Barrientos y S. Magnitskiy. 2011a. Evaluación técnica y económica de alternativas para el mejoramiento de la fertilización de tabaco (*Nicotiana tabacum*) tipo Virginia en los departamentos de Santander y Huila. Informe inédito. Universidad Nacional de Colombia, Protabaco SAS y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, 387 p.
- Plaza, G., V. Hoyos, L.M. Rodríguez, S. Magnitskiy y J.C. Barrientos. 2011b. Manejo de la fertilización del cultivo de tabaco Virginia en los municipios de Campoalegre y Garzón, Huila. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Protabaco S.A.S. y Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 49 p.
- Protabaco. 2010. Información Ingeniero Agrónomo Jesús Rojas. Director de Investigación de la empresa. Comunicación personal. Diciembre 2010.
- Rathbone, D.K. 2008. Effect of Nitrogen Rate and Cultivar on Burley Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Yield and Leaf Quality. A Thesis presented for the Master of Science degree The University of Tennessee at Martin
- Reddy, K. y D. Zhao. 2005. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub> and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Research*. 94(2-3), 201-213.
- Reddy, K.R. y S.K. Matcha. 2010. Quantifying nitrogen effects on castor bean (*Ricinus communis* L.) development, growth, and photosynthesis. *Industrial Crops and Products*. 31, 185-191.
- Reddy, K.R., S. Koti, G.H. Davidonis y V.R. Reddy. 2004. Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield and fiber quality. *Agronomy Journal*. 96, 1148-1157.
- Redonet, J. L., O. Pérez y D. Paz. 2004. Efecto de diferentes fuentes potásicas en el contenido químico de las plántulas de Tabaco negro. *CIGET Pinar del río*. 6 (4).
- Reed, T.D. 2008. Agronomic information. En: Flue-cured tobacco production guide. Virginia Cooperative Extension Service.

- Reed, T.D., C.S. Johnson, P.J. Semtner y C.A. Wilkinson. 2011. 2011 Flue-cured tobacco production guide. Virginia Cooperative Extension Service.
- Rideout, J.W. y D.T. Gooden. 2000. Effects of starter fertilizer, granular phosphorus fertilizer, time of fertilization, and seedling phosphorus concentration on flue-cured tobacco growth and nutrition. *Tobacco Science*. 44, 19-26.
- Rodríguez, D., F.H. Andrade y J. Goudriaan. 2000. Does assimilate supply limit leaf expansion in wheat grown in the field under low phosphorus availability?. *Field Crops Research*. 67, 227-238 .
- Rodríguez-Pérez, L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana* 24(1), 28-37.
- Rojo, W. 2008. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad. Tabaco. Cropkit. SQM S.A. 108 p. [www.sqm.com](http://www.sqm.com)
- Sanclemente, M.A. y E.J. Peña. 2008. Crecimiento y eficiencia fotosintética de *Ludwigia decurrens* Walter (Onagraceae) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno. *Acta biol. Colomb.* 13 (1), 175 – 186
- Sardans, J., F. Rodà y J. Peñuelas. 2005. Effects of water and a nutrient pulse supply on *Rosmarinus officinalis* growth, nutrient content and flowering in the field. *Environmental and Experimental Botany*. 53, 1–11
- Scheible, W.R., R., Morcuende, T., Czechowski, C., Fritz, D., Osuna, N., Palacios-Rojas, D., Schindelasch, O., Thimm, M.K. Udvardi y M. Stitt. 2004. Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of Arabidopsis in response to nitrogen. *Plant Physiol*. 136, 2483–2499.
- Shangguan, Z.P., M.A. Shao y J. Dyckmans. 2000. Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*. 44, 141–149
- Shi, Q.M., C.J. Li y F.S. Zhang. 2006. Nicotine synthesis in *Nicotiana tabacum* L. induced by mechanical wounding is regulated by auxin. *J. Exp. Bot.* **57**, 2899–2907.
- Sifola, M.I. y L. Postiglione. 2003. The effect of nitrogen fertilization on nitrogen use efficiency of irrigated and non-irrigated tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Plant and Soil*. 252, 313–323.

- Smith, W. 2004. Extension Crop Science Specialist – Tobacco. Sherwood Wood Department of Crop Science. 24 p.
- Smith, W. 2009. Managing Nutrients. En: Flue-cured Tobacco guide. North Carolina Agricultural Research Service, NC State University North Carolina Cooperative Extension. Printed by North Carolina Tobacco Foundation Inc. The Foundation
- Stagnari, F. V. Di Bitetto y M. Pisante. 2007. Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Scientia Horticulturae*. 114, 225–233.
- Steinberg, R.A. y T.C. Tso. 1958. Physiology of the tobacco plant. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 9, 151-174.
- Su, F., L. Fu, H. Chen y L. Hong. 2006. Balancing Nutrient Use for Flue-Cured Tobacco. *Better Crops*. 90 (4), 23-25. Southwest China.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Torrecilla, G., A. Pino, P. Alfonso y A. Barroso. 1980. Metodología para las mediciones de los caracteres cualitativos y cuantitativos de la planta de tabaco. *Cien. Téc. Agric.* 3(1), 21-61.
- Tóth V.R., I. Meszaros, S. Veres y J. Nagy. 2002. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *J Plant Physiol.* 159, 627-634.
- Trendell, B.P., K.H. Ferguson, M.A. Toleman, T.S. Rasmussen y J. von Nordheim. 1984. Effect of time of planting on yield and quality of flue-cured tobacco in north Queensland. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Science*. 41 (2), 91-100.
- Turner, N.C. 1974. Stomatal Behavior and Water Status of Maize, Sorghum, and Tobacco under Field Conditions. *Plant Physiol.* 53, 360-365.
- Vann, M.C., L.R. Fisher, W.D. Smith, D.L. Jordan y D.H. Hardy. 2011. The Effect of Potassium Rate, Application Method and Timing on the Yield and Quality of Flue-cured Tobacco. A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University . Raleigh, North Carolina.
- Venegas V.C. 1998. Principios de nutrición vegetal aplicados a la producción de tabaco. Seminario, Tecnologías para producir altos rendimientos y buena calidad en tabacos: Burley, Virginia y negros. Recopilación de Trabajos. SQM Nitratos Chilenos. 24- 27 de junio, Veracruz, México.

- Villares, A.E., M.A. Morandini, C.F. Hernández, A. Duran y M. Coronel. 2009. Estudios para la fertilización del tabaco tipo Burley en la Provincia de Tucumán. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 44, 8-15. IPNI, International Plant Nutrition Institute.
- Vos, J. y P.E.L. van der Putten. 1998. Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato. *Field Crops Research*. 59, 63-72.
- Vos, J., P.E.L. van der Putten y C.J. Birch. 2005. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*. 93, 64–73.
- Wang, S., Y. Zhu, H. Jiang y W. Cao. 2006. Positional differences in nitrogen and sugar concentrations of upper leaves relate to plant N status in rice under different N rates. *Field Crops Research*. 96, 224–234.
- Wang, S.S. Q.M. Shi, W.Q. Li, J.F. Niu, C.J. Li y F.S. Zhang. 2008. Nicotine Concentration in Leaves of Flue-cured Tobacco Plants as Affected by Removal of the Shoot Apex and Lateral Buds. *Journal of Integrative Plant Biology*. **50** (8), 958–964.
- Wei H., H.C. Zhang, Q. Ma, Q.G. Dai, Z.G. Huo, K. Xu, Q. Zhang y L.F. Huang. 2009. Photosynthetic Characteristics of Flag Leaf in Rice Genotypes with Different Nitrogen Use Efficiency. *Acta Agron Sin*. 35(12): 2243–2251.
- Xi, X., C. Li y F. Zhang. 2008. Tobacco plants can use nitrogen taken up before mechanical wounding to synthesize nicotine afterwards. *Plant Signaling & Behavior*. 3(2), 87-90.
- Xi, X., Y., C. J. Li y F. S. Zhang. 2005. Nitrogen supply after removing the shoot apex increases the nicotine concentration and nitrogen content of tobacco plants. *Annals of Botany*. 96, 793-797.
- Xu, Y.W., Y.T. Zou, A.M. Husaini, J.W. Zeng, L.L. Guan, Q. Liu y W. Wu. 2011. Optimization of potassium for proper growth and physiological response of *Houttuynia cordata* Thunb. *Environmental and Experimental Botany*. 71, 292–297.
- Yang, T., L. Lu, W. Xia y J. Fan. 2007. Characteristics of potassium-enriched, flue-cured tobacco genotype in potassium absorption, accumulation, and in-ward potassium currents of root cortex. *Agricultural Sciences in China*. 6 (12), 1479-1486.



- Yin, X. y P.C. Struik. 2009. C3 and C4 photosynthesis models: An overview from the perspective of crop modelling. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 57(1), 27-38.
- Zambrano, N y G. Tovar, 2007. Acuerdo regional de competitividad para la cadena de tabaco en el departamento del Huila. Gobernación del Huila, Secretaria de Agricultura y Minería y Cadena Productiva del Tabaco. 100 p.
- Zhang, F., J. Niu, W. Zhang, X. Chen, C. Li, L. Yuan y J. Xie. 2010. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant Soil*. 335, 21–34
- Zhao, D., D.M. Oosterhuis y C.W. Bednarz. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*. 39, 103–109.
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani y V.R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*. 22(4), 391-403.
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani, J.J. Read y G.A. Carter. 2003. Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant Soil*. 257, 205– 217.
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani, J.J. Read y S. Koti. 2007. Canopy reflectance in cotton for growth assessment and prediction of lint yield. *Eur.J. Agron*. 26, 335-344.
- Zhao, Z.-Q., Y.-G. Zhu, H.-Y. Li, S.E. Smith y F.A. Smith. 2003. Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum*, L.). *Environment International*. 29, 973– 978.
- Zhengxiong, Z., L. Chunjian, Y. Yuhong y Z. Fusuo. 2010. Why does potassium concentration in flue-cured tobacco leaves decrease after apex excision?. *Field Crops Research*. 116, 86–91.
- Zou, C., X., Wang, Z. Wang y F. Zhang. 2005. Potassium and Nitrogen Distribution Pattern and Growth of Flue-Cured Tobacco Seedlings Influenced by Nitrogen Form and Calcium Carbonate in Hydroponic Culture. *Journal of Plant Nutrition*. 28(12), 2145 — 2157.