

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y ABSORCIÓN DE NITRÓGENO DEL CULTIVO DEL TULIPÁN (*Tulipa gesneriana* L.)

DRY MATTER YIELD AND NITROGEN UPTAKE OF TULIP (*Tulipa gesneriana* L.) PLANTS

Pamela Artacho-Vargas¹ y Dante Pinochet-Tejos²

¹Programa de Postgrado en Ciencias de la Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 306-22. Santiago, Chile. (pnartach@uc.cl). ²Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia, Chile. (dpinoche@uach.cl)

RESUMEN

Dada la importancia de la fertilización nitrogenada en la producción de bulbos de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) y la limitada información relacionada con este cultivo en Chile, se realizó un ensayo para caracterizar su crecimiento y absorción de nitrógeno. El cultivo se realizó al aire libre e incluyó dos desbotonaduras. Se plantaron bulbos variedad negra, tamaño 7-9 cm y se usó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos: 0, 70, 120, 160 y 200 kg N ha⁻¹ y tres repeticiones. Se realizaron muestreos periódicos de plantas para analizar su crecimiento y contenido de N. La acumulación de materia seca y N del cultivo y de órganos individuales no fue afectada significativamente ($p > 0.05$) por la fertilización nitrogenada, debido seguramente a un alto suministro de N del suelo. Sin embargo, los bulbos aumentaron su concentración de N a la cosecha ($p \leq 0.05$) y alcanzaron un tamaño comercial. Las tasas diarias de crecimiento y absorción de N de plantas y órganos individuales presentaron patrones similares. La fertilización nitrogenada debiera fraccionarse: temprano en el invierno para promover la posterior expansión foliar, y luego en plena primavera para cubrir el período de máximo crecimiento y absorción de N del cultivo.

Palabras clave: *Tulipa gesneriana* L., análisis de crecimiento, fertilización nitrogenada.

INTRODUCCIÓN

El tulipán (*Tulipa gesneriana* L.), una monocotiledónea de la familia Liliaceae (Soriano, 1991), es la bulbosa más popular ya que ocupa una superficie aproximada de 12 000 ha en el mundo (Buschman, 2005). En Chile, la producción de flores y bulbos para exportación es una actividad reciente que ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años, siendo la segunda especie más importante con una superficie aproximada de 40 ha (ProChile, 2002).

Esta especie presenta un grueso bulbo que origina una flor solitaria muy ornamental, y que tiene

Recibido: Octubre, 2006. Aprobado: Octubre, 2007.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 37-45. 2008.

ABSTRACT

Given the importance of nitrogen fertilization in the production of tulip (*Tulipa gesneriana* L.) bulbs and the limited information relative to this crop in Chile, a study was conducted to characterize its growth and nitrogen uptake. Tulips were cultivated outdoors and included two deflorations. Bulbs of the variety negra, 7-9 cm, were planted. A randomized complete blocks design was used with five treatments: 0, 70, 120, 160 and 200 kg N ha⁻¹ and three replications. Periodically, plants were sampled to analyze their growth and N content. Accumulation of dry matter and N of the entire crop and individual plants were not significantly affected ($p > 0.05$) by nitrogen fertilization, undoubtedly because of the high N supply from the soil. However, bulbs increased N concentration at harvest ($p \leq 0.05$) and reached marketable size. Daily growth rates and N uptake by plants and individual organs exhibited similar patterns. Nitrogen fertilization should be divided: in early winter to promote later leaf expansion and then in full spring to cover the period of maximum crop growth and N uptake.

Key words: *Tulipa gesneriana* L., growth analysis, nitrogen fertilization.

INTRODUCTION

Tulips (*Tulipa gesneriana* L.), a monocotyledon of the Liliaceae family (Soriano, 1991), is the most popular bulbous flower, occupying an area of approximately 12 000 ha worldwide (Buschman, 2005). In Chile, the production of flowers and bulbs for export is a recent activity that has had exponential growth in the last few years, being now the second most important species with an area of approximately 40 ha (ProChile, 2002).

This species has a thick bulb, from which a single very ornamental flower grows. It has an annual cycle (Figure 1). After planting in fall (A) rapid growth of fibrous adventitious roots occurs from the basal part of bulb (B). The apical bud with the differentiated aerial organs also begins to elongate, but this growth is very slow during winter (C). In early spring, a rapid elongation of the stem and flower bud occurs (D) and

un ciclo anual de recambio (Figura 1). Después de la plantación en otoño (A) ocurre un rápido crecimiento de raíces adventicias fibrosas desde el plato basal del bulbo (B). La yema apical con los órganos aéreos ya diferenciados también comienza a elongarse, pero este crecimiento es muy lento durante el invierno (C). A inicios de primavera ocurre una rápida elongación del escapo y botón floral (D) y la antesis (E), etapa en la que el bulbo madre comienza a desaparecer y crecen los bulbos hijos. A fines de primavera ocurre la senescencia de la parte aérea, cesa el crecimiento de los bulbos hijos y comienza la diferenciación de las yemas florales y vegetativas (F) (Ohyama, 1991; De Hertogh y Le Nard, 1993; Schiappacasse, 1999).

Los bulbos poseen escamas carnosas, principales órganos almacenadores de agua y sustancias nutritivas (Schiappacasse, 1999). El N en los bulbos es insuficiente para cubrir completamente el período de crecimiento y asegurar un rendimiento máximo de bulbos hijos (Ohyama *et al.*, 1988a). Por tanto, la fertilización nitrogenada se considera determinante en la producción de flores y bulbos (Ohyama *et al.*, 1988b; De Hertogh y Le Nard, 1993; Pinochet, 1999). En particular, el momento de aplicación es crítico debido a razones económicas y ambientales (Gastal y Lemaire, 2002; Olf *et al.*, 2005); según Matus (1996) se debe definir con base en las tasas de crecimiento y absorción de N del cultivo.

En Chile el establecimiento de normas de fertilización para el cultivo de tulipán es incipiente debido a la limitada información. Por tanto, los objetivos de este trabajo fueron evaluar los efectos de cinco niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de las plantas y la concentración de N en cada órgano, caracterizar la acumulación de materia seca (MS) y de N del cultivo, y determinar sus tasas diarias de crecimiento y absorción de N en el agrosistema de Valdivia, Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Experimental Santa Rosa de la Universidad Austral de Chile entre junio y diciembre de 1999. El predio está ubicado en Valdivia, entre 39° 45' 30" S a 39° 47' 30" S y 73° 14' 55" O a 73° 13' 5" O. El clima es marítimo, con una precipitación promedio de 2500 mm concentrada entre marzo y septiembre (otoño e invierno), y una temperatura media anual de 12±9.2 °C, siendo enero (16.7 °C) y julio (7.5 °C) los extremos cálido y frío (Montaldo, 1983). El suelo usado está clasificado como Typic Hapludand, serie Valdivia, y sus características químicas fueron: materia orgánica 13.6%, N 20.5 mg kg⁻¹, P (Olsen) 30.8 mg kg⁻¹, K intercambiable 156 mg kg⁻¹, y pH medido al agua 5.0.

anthesis (E), stage at which the mother bulb begins to disappear and bulblets (daughter bulbs) develop. At the end of spring, senescence of the aerial part occurs: growth of lateral bulb ceases and differentiation of floral and vegetative buds begins (F) (Ohyama, 1991; De Herogh and Le Nard, 1993; Schiappacasse, 1999).

Bulbs have fleshy scales, which are the main storage organs for water and nutrients (Schiappacasse, 1999). N in the bulbs is insufficient for the entire growth period and does not assure maximum yield of lateral bulbs (Ohyama *et al.*, 1988a). Therefore, nitrogen fertilization is considered determinant in the production of flowers and bulbs (Ohyama, 1988b; De Hertogh and Le Nard, 1993; Pinochet, 1999). The moment to apply N is critical for economic and environmental reasons (Gastal and Lemaire, 2002; Olf *et al.*, 2005). According to Matus (1996), this should be defined on the basis of the crop's growth and N uptake rates.

In Chile, the establishment of fertilization norms of tulip cultivation is incipient given that information is limited. Thus, the objectives of this work were to evaluate the effects of five levels of nitrogen fertilization on tulip plant growth and N concentration in each organ, to characterize accumulation of dry matter (DM) and N, and to determine daily rates of growth and N absorption of tulips in an agrosystem of Valdivia, Chile.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the Santa Rosa experimental station of the Universidad Austral de Chile, between June and December 1999. The site is located in Valdivia, within 39° 45' 30"

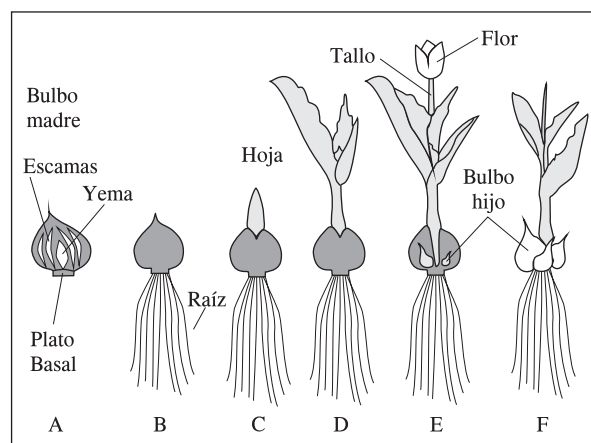


Figura 1. Crecimiento y desarrollo anual de un tulipán floral (Ohyama, 1991).

Figure 1. Annual growth and development of flower tulip (Ohyama, 1991).

El cultivo se desarrolló al aire libre para producción de bulbos, por lo que incluyó dos desbrotaduras, a los 126 y 140 d después de la plantación (ddp). Se plantaron bulbos variedad negra (7-9 cm), en platabandas con una distancia entre hileras y sobrehilera de 10 cm, y a una profundidad de 10 cm. Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: 0, 70, 120, 160 y 200 kg N ha⁻¹, aplicando un tercio de la dosis después de la emergencia de las plantas y los dos tercios restantes luego de la primera desbrotadura (126 ddp). Además, en la siembra se aplicaron 300 kg P₂O₅ ha⁻¹, 300 kg K₂O ha⁻¹ y 50 kg MgO ha⁻¹ en una dosis.

En la preparación del suelo se incorporaron 6 t CaCO₃ ha⁻¹, para aumentar su pH a 5.8; además se desinfectaron el suelo y los bulbos semilla. Para el suelo se usó dazomet (4 kg i.a. ha⁻¹) en presiembra, producto granulado para controlar nemátodos, hongos, insectos y malezas en germinación. Para los bulbos se usó una solución fungicida compuesta por clorotalonil, benomil e iprodione, en la cual se sumergieron los bulbos por 10 min aproximadamente, antes de su plantación.

Los muestreos de material vegetal se hicieron cada 15 d a partir de la emergencia de los brotes, en los siguientes ddp: 97 (emergencia); 112 (expansión de hojas); 126 y 140 (floración); 153, 168 y 182 (crecimiento de bulbos hijos y senescencia de partes vegetativas); 196 (cosecha comercial de bulbos). En cada muestreo se cosecharon 12 plantas completas por tratamiento y por repetición, eliminándose cuatro plantas ubicadas en los bordes de la unidad de muestreo. Las plantas se dividieron en bulbos, raíces, tallos y hojas, y flores, y luego se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante. La concentración de N se determinó en cada tejido usando el método de Kjeldahl (Page, 1983).

Las variables analizadas fueron: concentración de N (%), peso seco y contenido de N acumulado (g m⁻²) en la planta completa y en sus órganos. El análisis de varianza (AdeV) y el procedimiento de comparación múltiple de medias (Tukey, p≤0.05) se hicieron con el programa SAS. Se calcularon curvas de acumulación de MS y N, a las que se ajustaron funciones polinomiales cuyo grado se seleccionó usando el método de regresión de pasos (stepwise method) (Poorter, 1989). Las tasas diarias de crecimiento y absorción de N (g m⁻² d⁻¹) se calcularon derivando las funciones ajustadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de N

La fertilización nitrogenada aumentó significativamente (p≤0.05) la concentración de N en bulbos desde 153 a 196 ddp (Cuadro 1), coincidiendo con Sekhar (1981), Amano (1985) y Van der Boon (1986).

La concentración de N en los bulbos del tratamiento testigo a los 196 ddp se considera insuficiente para generar rendimientos máximos en una próxima temporada de cultivo (Van der Boon, 1986). Además, los bulbos del tratamiento testigo no superaron la concentración

S to 39° 47' 30" S and 73° 14' 55" W to 73° 13' 5" W. The climate is maritime with an average precipitation of 2500 mm concentrated between March and September (autumn and winter), and a mean annual temperature of 12±9.2 °C, with a maximum (15.7 °C) in January and a minimum (7.5 °C) in July (Montaldo, 1983). The soil used is classified as Hapludand Typic, serie Valdivia, and its chemical characteristics were: organic matter 13.6%, N 20.5 mg kg⁻¹, P (Olsen) 30.8 mg kg⁻¹, exchangeable K 156 mg kg⁻¹ and 5.0 pH measured in water.

The crop was cultivated outdoors for bulb production so that two deflorations were included: 126 d and 140 dap. Negrita variety bulbs 7-9 cm were planted in trays in rows 10 cm apart and 10 cm apart on each row, at a depth of 10 cm. A random complete blocks experimental design with three replications was used. Treatments were 0, 70, 120, 160 and 200 kg N ha⁻¹, applying a third of the dosage after plant emergence and the remaining two thirds after the first de-heading (126 dap). Also, 300 kg P₂O₅ ha⁻¹, 300 kg K₂O ha⁻¹ and 50 kg MgO ha⁻¹ were applied in a single dosage.

In preparing the soil, 6 t CaCO₃ ha⁻¹ was incorporated to increase pH to 5.8, and soil and seed bulbs were disinfected. Soil was disinfected with dazomet (4 kg i.a. ha⁻¹) before planting; this is a granulated product to control nematodes, fungi, insects and germinating weeds. For bulbs, a fungicide solution composed of chlorotalonil, benomyl and iprodione was used; in this solution bulbs were submerged for approximately 10 min before planting.

Plant material was sampled every 15 d as of shoot emergence at the following dap: 97 (emergence); 112 (leaf expansion); 126 and 140 (flowering); 152, 168 and 182 (growth of lateral bulbs and senescence of vegetative parts), 196 (harvest of marketable bulbs). In each sampling 12 whole plants per treatment and replication were cropped; four plants located on the edge of the sample unit were eliminated. The plants were divided into bulbs, roots, stems and leaves, and flowers, and then dried in an oven at 60 °C until constant weight. N concentration was determined in each tissue using the Kjeldahl method (Page, 1983).

The variables analyzed were N concentration (%), dry weight and content of accumulated N (g m⁻²) in the whole plant and in each organ. Analysis of variance (ANOVA) and the procedure for multiple comparison of means (Tukey, p≤0.05) were performed with SAS software. Dry matter and N curves were calculated and polynomial functions were fit to these; their degree was selected using the stepwise method (Poorter, 1989). Daily growth and N uptake rates (g m⁻² d⁻¹) were calculated by deriving the fitted functions.

RESULTS AND DISCUSSION

N concentration

Nitrogen fertilization significantly increased (p≤0.05) N concentration in bulbs from 153 to 196 dap (Table 1) coinciding with Sekhar (1981), Amano (1985) and Van der Boon (1986).

Cuadro 1. Concentración de N (%) promedio en cada parte de la planta de tulipán, según tratamiento de fertilización nitrogenada.
Table 1. Average N concentration (%) in each tulip plant part, by nitrogen fertilization treatment.

Parte vegetal	Dosis kg N ha ⁻¹	Días desde la plantación (ddp)							
		97	112	126	140	153	168	182	196
Bulbos [†]	0	0.78 a	0.63	0.74	0.48	0.47 a	0.47 a	0.70 a	0.83 a
	70	1.12 b	0.85	0.85	0.79	0.82 ab	0.98 b	0.89 ab	1.24 ab
	120	1.02 b	0.98	0.84	0.75	0.77 ab	1.14 b	1.31 c	1.55 b
	160	0.96 b	0.88	0.72	0.90	0.81 ab	1.14 b	1.20 bc	1.62 b
	200	1.09 b	0.84	0.88	0.85	0.96 b	1.21 b	1.27 c	1.72 b
	C.V. [‡] (%)	8.05	16.61	16.18	20.19	18.32	18.04	11.09	14.97
Tallos y hojas	0	4.35	4.20	3.35	1.94	2.07	1.75 a	1.47	0.88
	70	4.32	4.48	3.08	2.14	2.42	2.09 abc	1.75	1.05
	120	4.45	4.69	3.37	2.05	2.05	1.94 ab	1.77	1.25
	160	4.43	4.10	3.51	2.30	2.32	2.31 bc	1.86	1.17
	200	4.14	4.94	3.16	2.46	2.87	2.49 c	1.88	1.16
	C.V.(%)	7.00	10.08	7.07	12.39	17.52	8.56	11.37	16.26
Raíces	0	2.94	2.75	1.83	1.25 a	1.49 a	1.44 a	1.07 a	0.81
	70	2.91	2.77	2.21	1.51 ab	2.07 b	2.23 b	1.52 ab	1.10
	120	2.81	2.79	2.05	1.73 b	1.90 b	2.15 b	1.76 ab	1.54
	160	2.54	2.68	1.90	1.69 b	1.97 b	2.42 b	1.56 ab	1.55
	200	2.72	3.00	2.09	1.73 b	2.18 b	2.59 b	1.94 b	1.40
	C.V.(%)	10.17	9.99	10.55	7.35	7.34	9.46	17.31	21.65

Diferente letra en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) ❖ Different letters in the columns indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

[†] La concentración inicial de N en los bulbos semilla fue 1.05 ± 0.07 g 100g^{-1} ❖ Initial N concentration in seed bulbs was 1.05 ± 0.07 g 100g^{-1}

[‡] C.V. = Coeficiente de variación ❖ C.V. = Variation coefficient.

de N en los bulbos semilla de 1.05 ± 0.07 g 100g^{-1} , lo que indicaría un efecto residual de la fertilización nitrogenada, coincidiendo con Cheal y Winsor (1966a, b). Estos resultados sugieren una mayor atención sobre la composición química de los bulbos semilla.

La fertilización nitrogenada aumentó significativamente ($p \leq 0.05$) la concentración de N en raíces de 140 a 182 ddp (Cuadro 1). En contraste, la concentración de N en tallos y hojas (Cuadro 1) y flores (datos no presentados) no cambió ($p > 0.05$).

Las concentraciones de N en raíces, tallos y hojas (Cuadro 1) presentaron valores máximos durante la emergencia de los brotes (112 ddp), los que disminuyeron posteriormente. La alta concentración inicial es típica en órganos de alta división celular (Greenwood y Draycott, 1995) y además reflejaría la capacidad de las raíces de tulipán para almacenar N durante el invierno, si está disponible en el medio; ese N, luego de la emergencia, se usa como suplemento del N almacenado en el bulbo madre para soportar un rápido crecimiento de las hojas (Ohyama *et al.*, 1988b; Ohyama, 1991).

La concentración de N en bulbos (Cuadro 1) disminuyó hasta la etapa de floración (126 y 140 ddp) y luego aumentó a un máximo al momento de la cosecha. Al mismo tiempo, en tallos y hojas (Cuadro 1) disminuyó la concentración de N, especialmente luego de la floración. En cambio, las flores presentaron una

N concentration in the control bulbs at 196 dap is considered insufficient to generate maximum yields in the following crop season (Van der Boon, 1986). Furthermore, the N concentration in control bulbs was lower than that in seed bulbs (1.05 ± 0.07 g 100g^{-1}), indicating a residual effect of nitrogen fertilization, coinciding with Cheal and Winsor (1966a,b). These results suggest the need for greater attention to the chemical composition of seed bulbs.

Nitrogen fertilization significantly increased ($p \leq 0.05$) N concentration in roots from 140 to 182 dap (Table 1). In contrast, N concentration in stems and leaves (Table 1) and flowers (data not presented) did not change ($p > 0.05$).

N concentrations in roots, stems and leaves (Table 1) had maximum values during shoot emergence (112 dap), but these later decreased. The high initial concentration is typical in organs where cell division is high (Greenwood and Draycott, 1995); this also would reflect the capacity of tulip roots to store N during the winter if it is available in the medium. This N, after emergence, supplements the N stored in the mother bulb to support rapid leaf growth (Ohyama *et al.*, 1988b; Ohyama, 1991).

N concentration in bulbos (Table 1) decreased up to the flowering stage (126 and 140 dap) and then increased to a maximum at harvest. At the same

concentración promedio de N relativamente constante entre tratamientos: $2.68 \pm 0.23 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a los 126 ddp y $2.31 \pm 0.13 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ a los 140 ddp (datos no presentados). Este comportamiento temporal reflejaría una translocación inicial de N desde el bulbo madre a raíces, hojas y flores, y luego una redistribución desde los órganos vegetativos hacia los bulbos hijos (Ohyama *et al.*, 1988b; Ohyama, 1991).

Producción de materia seca (MS) y absorción de N

La producción de MS y absorción de N de bulbos, parte aérea, flores y planta completa no fue afectada significativamente ($p > 0.05$) por la fertilización nitrogenada. El rendimiento ($21.68 \pm 3.49 \text{ t ha}^{-1}$, peso fresco) y calibre ($11.66 \pm 0.75 \text{ cm}$) de bulbos tampoco fueron afectados ($p > 0.05$), aunque los bulbos cosechados alcanzaron un calibre comercial mayor a 10 cm (datos no presentados). Esto pudo deberse a un suministro de N del suelo suficiente para permitir un consumo de N sobre un nivel crítico. Así, al aumentar la fertilización no hubo una mayor producción de MS y rendimiento (Salisbury y Ross, 1985; Greenwood y Draycott, 1995; Havlin *et al.*, 1999). Además no se observaron diferencias visuales en el inicio de la senescencia de las plantas, concordando con el bajo efecto de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de N en los órganos vegetativos (Cuadro 1) y con lo reportado por Ohyama *et al.* (1988b). Se sugiere que hubo una alta mineralización de N durante la estación de crecimiento, al menos 112 kg N ha^{-1} (con base en la absorción de N del tratamiento testigo y descontando el N del bulbo semilla).

En la Figura 1 se presentan las curvas de acumulación de MS y N (calculadas promediando datos de tratamientos y bloques) en la planta de tulipán y en sus órganos durante la estación de crecimiento. Los datos de raíces no se incluyeron porque no fueron concluyentes, al ser éste un ensayo de campo.

Después de la emergencia de los brotes (112 ddp) el peso seco de bulbos disminuyó 40% (Figura 1A), similar a lo reportado por Ohyama *et al.* (1988b,c) e Inamoto *et al.* (2000) en bulbos de tulipán, Ortega-Blu *et al.* (2006) en bulbos de *Lilium*, y Toit *et al.* (2004) en bulbos de *Lachenalia*. Ésto se explicaría por el consumo de almidón y exportación de azúcares y nutrientes iniciales hacia raíces y hojas, considerando la alta correlación entre la concentración de almidón y el peso seco de los bulbos de *Lachenalia* (Toit *et al.*, 2004). Después de la floración y desbotonadura (126 y 140 ddp) hubo un aumento sostenido del peso seco de bulbos y por tanto de la planta completa, lo que se debe a la acumulación de carbohidratos fotosintéticos

time, in stems and leaves (Table 1) N concentration decreased, especially after flowering. The flowers, however, had an average N concentration that was relatively constant among treatments: $2.68 \pm 0.23 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ 126 dap and $2.31 \pm 0.13 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ 140 dap (data not shown). This seasonal behavior would reflect an initial translocation of N from the mother bulb to roots, leaves and flowers and, later, redistribution from vegetative organs toward the lateral bulbs (Ohyama *et al.*, 1988b; Ohyama, 1991).

Dry matter production and N uptake

Production of dry matter (DM) and N uptake by the bulbs, shoot, flower and complete plant were not significantly affected ($p > 0.05$) by nitrogen fertilization. Nor were yield ($21.68 \pm 3.49 \text{ t ha}^{-1}$, fresh weight) or bulb size ($11.66 \pm 0.75 \text{ cm}$) affected ($p > 0.05$), although harvested bulbs reached a marketable size of more than 10 cm (data not shown). This could have been due to a supply of N from the soil that was sufficient to permit N uptake beyond the critical level. Thus, when fertilization was increased, there was no greater production of DM or higher yield (Salisbury and Ross, 1985; Greenwood and Draycott, 1995; Havlin *et al.*, 1999). Furthermore, no visual differences were observed at the beginning of plant senescence, which is in agreement with the low effect of nitrogen fertilization on N concentration in the vegetative organs (Table 1) and with results reported by Ohyama *et al.* (1988b). It is suggested that N mineralization was high during the growth season, at least 112 kg N ha^{-1} (based on N uptake in the control treatment and deducting the N in the seed bulb).

Figure 1 presents dry matter and N accumulation curves (calculated by averaging treatment and block data) in tulip plants and their organs during the growing season. Since this was a field test, data on roots were not included because they were not conclusive.

After shoots emerged (112 dap), bulb dry weight decreased 40% (Figure 1A), similar to that reported by Ohyama *et al.* (1988b, c) and Inamoto *et al.* (2000) for tulip bulbs, Ortega-Blu *et al.* (2006) for *Lilium* bulbs, and Toit *et al.* (2004) for *Lachenalia* bulbs. This would be explained by the initial consumption of starch and export of sugars and nutrients to roots and leaves, considering the high correlation between starch concentration and bulb dry weight in *Lachenalia* (Toit *et al.*, 2004). After flowering and de-heading (126 and 140 dap) there was sustained increase in bulb dry weight and, therefore, of the entire plant due to accumulation of photosynthetic carbohydrates (Ohyama *et al.*, 1988c; Ortega-Blu *et al.*, 2006). During crop senescence bulb and plant dry weights decreased; this

(Ohyama *et al.*, 1988c; Ortega-Blu *et al.*, 2006). En la senescencia del cultivo el peso seco de bulbos y planta completa disminuyó, lo que pudo deberse a una transferencia de carbohidratos hacia las raíces (Toit *et al.*, 2004).

La parte aérea (Figura 1A) aumentó su peso seco durante la etapa de expansión foliar alcanzando un máximo de 210.29 ± 50.11 g MS m^{-2} en floración. Luego, su peso seco se mantuvo constante y hacia el final de la estación de cultivo disminuyó a 73.30 ± 29.95 g MS m^{-2} debido a la senescencia de las hojas y a la transferencia de carbohidratos y nutrientes hacia los bulbos hijos (Ohyama *et al.*, 1988b,c; Inamoto *et al.*, 2000; Toit *et al.*, 2004).

El peso seco de las flores (Figura 1A) en el segundo muestreo (443.21 ± 59.63 g MS m^{-2}) fue al menos tres veces superior al del primer muestreo (123.40 ± 45.17 g MS m^{-2}), coincidiendo con Toit *et al.* (2004), lo que se explicaría por la progresión del estado de floración del cultivo. Del mismo modo, su contenido de N (Figura 1B) aumentó de 3.28 ± 1.15 a 10.21 ± 1.47 g N m^{-2} .

Desde la emergencia de los brotes hasta floración, los bulbos disminuyeron su contenido de N (Figura 1B) de 1.84 ± 0.41 a 0.88 ± 0.20 g N m^{-2} debido a la translocación del N del bulbo madre y del N absorbido durante el invierno, hacia las hojas en crecimiento (Ohyama *et al.*, 1988b; Ohyama, 1991). Así, el contenido de N de la parte aérea (Figura 1B) aumentó durante la emergencia de los brotes y el período de expansión foliar, alcanzando un máximo de 4.75 ± 1.62 g N m^{-2} a los 153 ddp. Luego, en la etapa de senescencia del cultivo, su contenido se redujo a 0.79 ± 0.37 g N m^{-2} debido a la removilización de este elemento hacia los bulbos, los que acumularon N posterior a la floración alcanzando 11.95 ± 3.80 g N m^{-2} al final de la estación de cultivo.

Tasas de crecimiento y de absorción de N

Las tasas de crecimiento y absorción de N se calcularon derivando las funciones polinomiales ajustadas a los datos de acumulación de MS y N (Cuadro 2). El

could be due to transfer of carbohydrates to the roots (Toit *et al.*, 2004).

The shoot (Figure 1A) increased its dry weight during the stage of leaf expansion, reaching a maximum of 210.29 ± 50.11 g DW m^{-2} at flowering. After this, dry weight remained constant until toward the end of the crop season when it decreased to 73.30 ± 29.95 g DW m^{-2} due to leaf senescence and to transfer of carbohydrates and nutrients to the lateral bulbs (Ohyama *et al.*, 1988b, c; Inamoto *et al.*, 2000; Toit *et al.*, 2004).

Dry weight of the flowers (Figure 1A) of the second sampling (443.21 ± 59.63 g DW m^{-2}) was at least three times more than that of the first sampling (123.40 ± 45.17 g DW m^{-2}), coinciding with Toit *et al.* (2004). This can be explained by the progression of the crop flowering stage. In the same way, N content (Figure 1B) increased from 3.28 ± 1.15 to 10.21 ± 1.46 g N m^{-2} .

From shoot emergence to flowering, the bulbos decreased in N content (Figure 1B) from 1.84 ± 0.41 to 0.88 ± 0.20 g N m^{-2} due to translocation of N from the mother bulb, and from that taken up during winter, to growing leaves (Ohyama *et al.*, 1988b; Ohyama, 1991). Thus, the N content of the aerial shoot (Figure 1B) increased during emergence and leaf expansion, reaching a maximum of 4.75 ± 1.62 g N m^{-2} by 153 dap. In the senescence stage of the crop, N content decreased to 0.79 ± 0.37 g N m^{-2} due to its mobilization to the bulbos, which accumulated N after flowering reaching 11.95 ± 3.80 g N m^{-2} at the end of the cropping season.

Growth and N uptake rates

Growth and N uptake rates were calculated by deriving the polynomial functions fitted to the DM and N accumulation data (Table 2). The use of these functions was based on a functional approximation to the data; that is, although they are not physiologically significant, they allow high precision in the fit and elimination of irregularities of the original data (Richard, 1969, cited by Hunt, 1979; Hunt, 1981; Hunt, 2003).

Cuadro 2. Funciones ajustadas a los datos de acumulación de MS y N, de la planta completa y sus órganos individuales.
Table 2. Functions fit to dry matter (MS) and N accumulation data of complete plant and individual organs.

Variable	Ecuación	R ²	p
MS	Bulbos: $y = -17,413.86 + 598.78x - 7.39x^2 + 0.04x^3 - 7.35 \cdot 10^{-5}x^4$	0.99	$p \leq 0.01$
	Parte aérea: $y = 708.97 - 23.03x + 0.23x^2 - 6.58 \cdot 10^{-4}x^3$	0.95	$p \leq 0.01$
	Planta completa $y = -9,766.90 + 374.33x - 5.02x^2 + 0.03x^3 - 5.66 \cdot 10^{-5}x^4$	0.99	$p \leq 0.01$
N	Bulbos: $y = -171.87 + 5.77x - 0.07x^2 + 3.55 \cdot 10^{-4}x^3 - 6 \cdot 10^{-7}x^4$	0.99	$p \leq 0.01$
	Parte aérea: $y = -6.98 + 0.03x + 0.001x^2 - 5.88 \cdot 10^{-6}x^3$	0.98	$p \leq 0.01$
	Planta completa: $y = -153.72 + 5.07x - 0.06x^2 + 3.12 \cdot 10^{-4}x^3 - 5.83 \cdot 10^{-7}x^4$	0.99	$p \leq 0.01$

uso de estas funciones se basó en una aproximación funcional a los datos, es decir, no tienen un significado fisiológico, pero permiten una alta precisión en el ajuste y eliminar irregularidades de los datos originales (Richard, 1969, citado por Hunt, 1979; Hunt, 1981; Hunt, 2003).

Desde la emergencia de los brotes y hasta la floración (126 y 140 ddp), las tasas de crecimiento y absorción de N en bulbos fueron negativas y decrecientes, mientras que en tallos y hojas fueron positivas (Figura 2). Esto reflejaría una redistribución de carbohidratos y N desde el bulbo madre hacia las hojas en expansión. Concordemente, las tasas máximas de crecimiento ($3.67 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y de absorción de N ($0.10 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en la parte aérea ocurrieron en este período, a inicios de primavera en septiembre.

Después de la floración, durante el período de crecimiento de los bulbos hijos, las tasas de crecimiento y absorción de N en la parte aérea (Figura 2) decrecieron e incluso fueron negativas. Paralelamente, se presentaron las tasas máximas de crecimiento en bulbos ($20.05 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y en la planta completa ($20.58 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), y la tasa máxima de absorción de N en la planta completa ($0.25 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figura 2), específicamente a los 153 ddp (inicios de noviembre). La tasa máxima de absorción de N en bulbos ($0.25 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se produjo poco después, a los 168 ddp (Figura 2B). En la etapa final, las tasas de crecimiento y de absorción de N en la planta completa y en bulbos (Figura 2) disminuyeron indicando la senescencia del cultivo. Incluso, se presentaron tasas negativas de crecimiento, sugiriendo una redistribución de parte de los carbohidratos en los bulbos.

CONCLUSIONES

En las condiciones experimentales descritas, la acumulación de MS y N en la planta completa, bulbos y parte aérea no fue afectada significativamente ($p > 0.05$) debido seguramente a un alto suministro de

From shoot emergence up to flowering (126 and 140 dap), growth and N uptake rates in bulbs were negative and decreasing, while in stems and leaves they were positive (Figure 2). This reflects a redistribution of carbohydrates and N from the mother bulb to the expanding leaves. Accordingly, the maximum growth ($3.67 \text{ g DM m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and N uptake ($0.10 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) rates in the shoot occurred during this period at the beginning of spring (September).

After flowering, during the period of lateral bulb growth, the rates of growth and N uptake in the shoot (Figure 2) decreased, even to negative values. In a parallel manner, maximum growth rates of bulbs ($20.05 \text{ g DM m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and whole plant ($20.58 \text{ g DM m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and the maximum N uptake rate in the whole plant ($0.25 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figure 2) occurred, specifically 153 dap (early November).

The maximum N uptake rate in bulbs ($0.25 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) occurred a little later, 168 dap (Figure 2B). In the final stage, growth and n uptake rates in the whole plant and in bulbs (Figure 2) decreased, indicating senescence. There were even negative growth rates, suggesting a redistribution of part of the carbohydrates in the bulbs.

CONCLUSIONS

Under the experimental conditions described, DM and N accumulation in the whole plant, bulbs and shoot was not significantly affected ($P > 0.05$), undoubtedly due to the abundant supply of N from the soil which had a high content of organic matter (13.6%). However, the bulbs increased their N concentration at harvest ($p \leq 0.05$) and reached a marketable size of more than 10 cm. The temporal pattern of DM and N accumulation in the whole plant and its organs during the growing season suggests that after shoot emergence, carbohydrates and N were exported from the mother bulb to the growing leaves to be later remobilized to flowers and lateral bulbs.

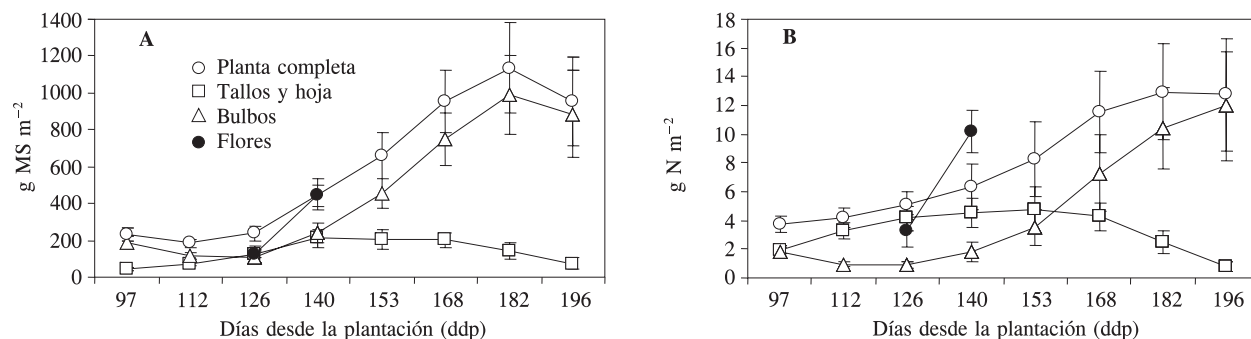


Figura 2. Curvas de acumulación de A) MS y B) N en bulbos, tallos y hojas, flores y planta completa de tulipán.
Figure 2. Accumulation curves of A) dry matter (MS) and B) N in tulip bulbs, stems and leaves, flowers, and whole plant.

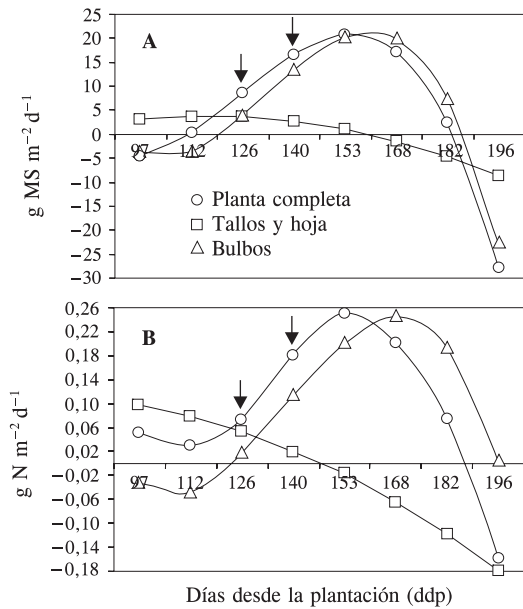


Figura 3. Tasas de A) crecimiento y B) absorción de N en bulbos, parte aérea (tallos y hojas) y planta completa. ▼ Floración.

Figure 3. Rates of A) growth and B) N uptake in tulip bulbs, shoot (stems and leaves) and whole plant. ▼ Flowering.

N del suelo, dado su elevado contenido de materia orgánica (13.6%). Sin embargo, los bulbos aumentaron su concentración de N a la cosecha ($p \leq 0.05$) y alcanzaron un calibre comercial mayor a 10 cm. El patrón temporal de acumulación de MS y N en la planta completa y en sus órganos durante la estación de crecimiento, sugieren que después de la emergencia de los brotes se exportaron carbohidratos y N desde el bulbo madre hacia las hojas en crecimiento, para luego removilizarlos hacia flores y bulbos hijos.

Las tasas de crecimiento y absorción de N presentaron patrones similares, y sugieren el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada: temprano en el invierno para promover la posterior expansión foliar, y luego en primavera para cubrir el período de máximo crecimiento y absorción de N de bulbos y del cultivo.

LITERATURA CITADA

Amano, M. 1985. Influence of mother bulb nitrogen on subsequent nitrogen uptake in tulips. *Acta Hort.* 177(2): 423-431.

Buschman, J. C. M. 2005. Globalisation-flower-flower bulbs-bulb flowers. *Acta Hort.* 673: 27-33.

Cheal, W., and G. Winsor. 1966a. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium on the growth of tulips during the second season of treatment and on the chemical composition of the bulbs. *Ann. Appl. Biol.* 57: 287-299.

Cheal, W., and G. Winsor. 1966b. The residual effect of previous nutritional treatments on the growth and composition of tulips supplied with complete nutrients in sand culture. *Ann. appl. Biol.* 57: 379-388.

Growth and N uptake rates had similar patterns. This suggests that fractioning nitrogen fertilization is recommendable: early in the winter to promote later leaf expansion and afterwards in spring to cover the period of maximum growth and N uptake by bulb and whole plant.

—End of the English version—



De Hertogh, A., and M. Le Nard. 1993. *The Physiology of Flower Bulbs*. Elsevier Science. Amsterdam, Netherlands. 811 p.

Gastal, F., and G. Lemaire. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 53(370): 789-799.

Greenwood, D., and A. Draycott. 1995. Modelling uptake of nitrogen, phosphate and potassium in relation to crop growth. *In: Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System. A Comparison of Potato Growth Models*. Kabat, P., B. Marshall, B. J. Van der Broca, J. Vos, and H. Van Keulen (eds). Amsterdam, Netherlands. pp: 155-175.

Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale, and W. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. 6th ed. Prentice-Hall. New Jersey, USA. 499 p.

Hunt, R. 1979. Plant growth analysis: the rationale behind the use of the fitted mathematical function. *Ann. Bot.* 43: 245-249.

Hunt, R. 1981. The fitted curve in plant growth studies. *In: Rose, D. A., and D. A. Charles-Edwards (eds). Mathematics and Plant Physiology*. Academic Press. London, UK. pp: 283-298.

Hunt, R. 2003. Plant growth analysis: individual plants. *In: Thomas, B., D. J. Murphy, and D. Murray (eds). Encyclopaedia of Applied Plant Sciences* Academic Press. London, UK. pp: 579-588.

Inamoto, K., T. Hase, M. Doi, and H. Imanishi. 2000. Effects of duration of bulb chilling on dry matter distribution in hydroponically forced tulips. *Scientia Horticulturae* 85: 295-306.

Matus, F. 1996. Fertilización y nutrición del tulipán. *In: Schiappacasse, F. (ed). El Cultivo del Tulipán*. Universidad de Talca. Talca, Chile. pp: 31-52.

Montaldo, P. 1983. Características climáticas de la ciudad de Valdivia y alrededores. *Agro Sur* 11(2): 138-139.

Ohyama, T. 1991. Assimilation and transport of nitrogen in tulip (*Tulipa gesneriana*) as pursued by ¹⁵N. *JARQ.* 25: 108-116.

Ohyama, T., T. Ikarashi, and A. Baba. 1988a. Effect of cold storage treatment for forcing bulbs on the C y N metabolism of tulip plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34(4): 519-533.

Ohyama, T., T. Ikarashi, A. Obata, and A. Baba. 1988b. Role of nitrogen accumulated in tulip roots during winter season. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34(3): 341-350.

Ohyama, T., T. Ikarashi, and T. Matzubara. 1988c. Behavior of carbohydrates in mother and daughter bulbs of tulips. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34(3): 405-415.

Olfs, H., K. Blankenau, F. Brentrup, J. Jasper, A. Link, and J. Lammel. 2005. Soil and plant based nitrogen fertilizer recommendations in arable farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 414-431.

Ortega-Blu, R., M. Correa-Benguria, y E. Olate-Muñoz. 2006. Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes en tres cultivares de *Lilium* spp. para flor de corte. *Agrociencia* 40: 77-88.

Page, A. L. 1983. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2nd ed. ASA. SSSA. Madison, Wis. USA. 1121 p.

Pinochet, D. 1999. Fertilización de las plantas bulbosas. *In: Seemann, P., y N. Andrade (eds). Cultivo y Manejo de Plantas*

- Bulbosas Ornamentales. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp: 123-137.
- Poorter, H. 1989. Plant growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. *Physiologia Plantarum* 75: 237-244.
- ProChile, 2002. Análisis del sector de bulbos para flores y estudio de mercado de las flores para corte. Informe final. Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales. ProChile. 102 p. Disponible en <http://www.odepa.gob.cl>. Consultado: Marzo, 2005.
- Salisbury, F., and C. Ross. 1985. *Plant Physiology*. 3th Ed. Wadsworth. California, USA. 540 p.
- Schiappacasse, F. 1999. Cultivo del tulipán. *In*: Seemann, P., y N. Andrade (eds). *Cultivo y Manejo de Plantas Bulbosas Ornamentales*. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp: 3-12.
- Sekhar, N. N. C. 1981. Nitrogen for tulip bulb production. *Scientific-Horticulture* 32: 104-109.
- Soriano, J. 1991. *Plantas Bulbosas en Jardinería*. Floraprint. Madrid, España. 142 p.
- Toit, E., P. Robbertse, and J. Niederwieses. 2004. Plant carbohydrate partitioning of *Lachenalia* cv. Ronina during bulb production. *Scientia Horticulturae* 102: 433-440.
- Van der Boon, J. 1986. Nitrogen uptake by tulips. *Acta Hort.* 177(2): 685-689.