

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Determinación de los parámetros necesarios para la
demanda potásica del cultivo del tulipán (*Tulipa sp.*)

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Agronomía

Carlos Javier Mollenhauer Yakovleff

VALDIVIA-CHILE

2002

PROFESOR PARTROCINANTE:

Dante Pinochet T.

Ing. Agr., M. Sc. Ph. D.

PROFESORES INFORMANTES:

Roberto MacDonald H.

Ing. Agr., M. Sc.

Peter Seemann F.

Ing. Agr., Dr. Rer. hort.

**Este trabajo lo dedico a las
personas que más amo y
siempre me han apoyado
incondicionalmente, Carlos,
María Verónica, Vivi, Jorgito,
Natali y Paolita.**

AGRADECIMIENTOS

Por supuesto que a la primera persona que tendría que mencionar es a mi profesor Patrocinante Dr. Dante Pinochet T., ya que gracias a él, y el tiempo que dedicó en mí (incluso Domingos) este trabajo llegó a su término y en forma correcta, también tengo que agradecerle su paciencia, apoyo y extraordinario guía que fue en este proceso. Gracias Dante.

A otra persona que no puedo dejar de mencionar es a Don Roberto MacDonald H., ya que el tiempo que dedicó para escuchar mis inquietudes y la disertación de mi tesis, se lo agradezco profundamente y por supuesto por sus acertados consejos. Gracias Don Roberto por ser como es.

Agradezco a Lorena, Fernando, Sra. Judith, Raúl, Cecilia y Osvaldo, por su desinteresada ayuda, por su amistad y por convertir el Laboratorio en un lugar abierto y agradable.

También agradezco a todos mis amigos de la Universidad con los que vivimos etapas inolvidables en esos años. Gracias por todo lo que me ayudaron y apoyaron en toda esta etapa de mi vida.

Sobre todo tengo que agradecer a mis papas, por todo lo que me han apoyado en mi vida, es a ellos quienes les debo todo lo que soy y lo que seré y en especial a mi mamá por lo increíble que es y todo el tiempo que ella me a dedicado; agradezco a la Vivi, quien con su amor y comprensión me dio todo su apoyo para terminar esta Tesis.

ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Aspectos generales del cultivo del tulipán	3
2.1.1	Orígen, distribución e historia	3
2.1.2	Clasificación y descripción botánica	3
2.1.3	Crecimiento y desarrollo	5
2.1.4	Propagación	8
2.1.4.1	Plantación para engorda	9
2.1.4.2	Eliminación del capullo floral	9
2.1.4.3	Tiempo de engorda	10
2.1.5	Requerimientos edafoclimáticos	10
2.1.6	Requerimientos hídricos	12
2.1.7	Plantación	13
2.1.8	Control de malezas	15
2.1.9	Cosecha y almacenamiento de bulbos	15
2.2	Fertilización de los cultivos	17
2.2.1	Fertilización potásica	18
2.2.2	Demanda de nutrientes	19
2.2.2.1	Demanda de potasio	22
2.2.3	Suministro de nutrientes	24
2.2.3.1	Suministro de potasio	25
2.2.4	Eficiencia de fertilización	26
2.2.4.1	Eficiencia de fertilización potásica	27
3	MATERIAL Y MÉTODO	28

Capítulo		Página
3.1	Material	28
3.1.1	Características edáficas del lugar de ensayo	28
3.1.2	Material vegetal	29
3.1.3	Fertilizantes	29
3.2	Método	30
3.2.1	Antecedentes generales del ensayo	31
3.2.2	Diseño experimental del ensayo	31
3.2.3	Fertilización del ensayo	31
3.2.4	Manejo agronómico del ensayo	33
3.2.4.1	Preparación de suelos	33
3.2.4.2	Encalado	33
3.2.4.3	Manejo de los bulbos preplantación	34
3.2.4.4	Plantación	34
3.2.4.5	Riego	35
3.2.4.6	Control de malezas	36
3.2.4.7	Control de plagas y enfermedades	36
3.2.5	Muestreo de bulbos y plantas	36
3.2.6	Tratamiento del material vegetal muestreado	38
3.2.6.1	Determinación de la materia seca total	38
3.2.6.2	Determinación de la concentración de potasio	38
3.3	Diseño experimental y análisis estadístico	39
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
4.1	Parámetros directos	41
4.1.1	Concentración de potasio	41
4.1.2	Variación en la concentración de la materia seca	45
4.1.3	Producción de materia seca del cultivo del tulipán	50
4.1.4	Rendimiento de bulbos	56

Capítulo		Página
4.1.5	Calibre de bulbos	57
4.2	Parámetros derivados	59
4.2.1	Absorción de potasio acumulada	59
4.2.2	Tasa de crecimiento	62
4.2.3	Tasa de absorción de potasio	64
4.3	Parámetros de demanda	65
4.3.1	Requerimiento interno de potasio	65
4.3.2	Humedad de cosecha	68
4.3.3	Índice de cosecha	70
4.4	Eficiencia de fertilización potásica	71
5	CONCLUSIONES	72
6	RESUMEN	74
	SUMMARY	75
7	BIBLIOGRAFÍA	76
	ANEXOS	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Estados vegetativos y reproductivos del ápice de tulipán	7
2	Sistema de plantación en platabandas: densidad de plantación (bulbos por metro cuadrado)	14
3	Densidad de plantación (bulbos por metro), en sistema de camellones	15
4	Parámetro del cultivo del tulipán bajo óptimas condiciones de crecimiento y bajo manejo convencional	22
5	Niveles críticos de potasio intercambiable (Ki) en el suelo para una óptima nutrición de los cultivos de plantas geófitas	24
6	Análisis químico de suelos del lugar de ensayo	29
7	Fertilizantes utilizados y las concentraciones del nutriente principal y de los nutrientes secundarios que aporta	30
8	Composición química de la mezcla de micronutrientes aplicada en el ensayo	30
9	Dosis de fertilización potásica a aplicar en el ensayo	32
10	Calendario de muestreo	37

Cuadro		Página
11	Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) de los órganos de la planta de tulipán	42
12	Efecto de la fertilización potásica sobre el porcentaje de materia seca (%MS) de los órganos de la planta de tulipán	48
13	Rendimiento de bulbos (peso fresco) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	57
14	Calibre de bulbos (cm) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	57
15	Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m ²) de los órganos de la planta de tulipán	58
16	Efecto de la fertilización potásica sobre la absorción de potasio (g K/m ²) de los órganos de la planta de tulipán	61
17	Requerimiento interno de potasio (g/100g) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	68
18	Humedad de cosecha (g/g) de bulbos de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	69

Cuadro

Página

19 Índice de cosecha (g/g) de un cultivo de tulipán bajo
cinco tratamientos de fertilización potásica

70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructura de un bulbo de tulipán, después de su plantación en otoño	4
2	Dinámica del potasio en el suelo	26
3	Diseño experimental del ensayo	31
4	Detalle de una platabanda de la plantación	35
5	Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) en el bulbo del tulipán	41
6	Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) en la parte aérea del tulipán	44
7	Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) en las raíces del tulipán	45
8	Curva de la concentración de materia seca (%MS) en el bulbo en el cultivo del tulipán	46
9	Curva de la concentración de materia seca (%MS) en la parte aérea en el cultivo del tulipán	49

Figura		Página
10	Curva de concentración de materia seca (%MS) de las raíces del cultivo del tulipán	50
11	Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m ²) acumulada en el bulbo del tulipán	51
12	Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m ²) acumulada en la parte aérea del tulipán	53
13	Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m ²) acumulada en la raíz del tulipán	54
14	Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca total (g MS/m ²) (sin incluir flores) de un cultivo de tulipán	55
15	Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m ²) de un cultivo de tulipán (incluyendo la materia seca de las flores, retirada en la desbotonadura)	56
16	Absorción acumulada promedio de potasio a través del tiempo (g K/m ²) en el cultivo de tulipán. A. Bulbos; B. Parte aérea; C. Raíces y D. Total (bulbos más parte aérea)	59

Figura		Página
17	Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento promedio ($\text{g MS/m}^2/\text{día}$) de un cultivo de tulipán. A. Total (bulbo más parte aérea); B. Bulbo; C. Parte aérea	63
18	Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa absorción de potasio promedio ($\text{g K/m}^2/\text{día}$) en un cultivo de tulipán. A. Total (bulbo más parte aérea); B. Bulbo; C. Parte aérea	65
19	Variación en el tiempo del requerimiento interno promedio (%RIK) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	67
20	Promedio de humedad de cosecha (HC) de bulbos (g/g), de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento ($\text{g MS/m}^2/\text{día}$) de los bulbos de un cultivo de tulipán	82
2	Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento ($\text{g MS/m}^2/\text{día}$) de la parte aérea de un cultivo de tulipán	82
3	Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento ($\text{g MS/m}^2/\text{día}$) de un cultivo de tulipán (sin incluir las flores retiradas en la desbotonadura).	83
4	Humedad de cosecha (HC) de bulbos (g/g), de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica	83
5	Absorción acumulada de potasio a través del tiempo en el cultivo de tulipán (g K/m^2). A. Bulbo; B. Parte aérea; C. Raíces y D. Total (bulbo más parte aérea)	84
6	Variación en el tiempo del requerimiento interno de potasio (RIK) de un cultivo de tulipán	84

Anexo		Página
7	Resumen de los análisis de varianza aplicados a los datos de producción de materia seca (g MS/m ²) de bulbos, parte aérea, raíces y flores.	85
8	Resumen de los datos de análisis de varianza aplicados a los datos de porcentaje de potasio (%K) de bulbos, parte aérea, raíces y flores	86
9	Resumen de los datos de análisis de varianza aplicados a los datos de porcentaje de materia seca (%MS) de bulbos, parte aérea, raíces y flores	87
10	Resumen de los datos de análisis de varianza aplicados a los datos de absorción de potasio (g K/m ²) de bulbos, parte aérea, raíces y flores	88
11	Resumen de los análisis de varianza aplicados a los datos de requerimiento interno de potasio (RIK)	89
12	Resumen de los análisis de varianza aplicados a los datos de humedad de cosecha (HC), índice de cosecha y calibre de bulbos	89

1 INTRODUCCIÓN

El cultivo del tulipán ha comenzado a ser una alternativa productiva para la zona sur del país, principalmente en la producción de bulbos para una posterior comercialización de ellos a productores de flores.

Una de las características importantes de la producción de bulbos de tulipán es la calidad de los bulbos producidos, ya que la producción posterior de flores depende en gran medida de la calidad de los órganos de reserva. Entonces, además de producir un gran número de bulbos por planta, es necesario que cada uno de ellos sea producido con una gran calidad. Esta está asociada con el calibre de los bulbos producidos. Así, para la producción de flores se requieren bulbos que posean calibres entre 10 a 14 cm de perímetro ecuatorial.

Para la adecuada producción en número y calidad de bulbos de tulipán, una de las herramientas agronómicas importantes a utilizar es la fertilización del cultivo. Su objetivo es nutrir al cultivo en forma óptima con la mínima adición de fertilizante, de manera que sea económico para los agricultores y asegure un sistema agrícola de mínima contaminación.

Una nueva herramienta para la decisión de la dosis de fertilización de los cultivos es el método razonado de fertilización, el cual está basado en la determinación de los parámetros más importantes del sistema clima – cultivo – suelo – fertilizante, para formular las normas de fertilización de cada cultivo específico.

El objetivo general de este trabajo es, determinar los parámetros necesarios para la estimación de una fertilización potásica razonada del cultivo del tulipán.

Los objetivos específicos derivados del objetivo general son:

- determinar parámetros de demanda bajo condiciones óptimas de nutrición,
- determinar las tasas de crecimiento y de absorción de potasio en el agrosistema de Valdivia y
- conocer la desviación de los parámetros de demanda y de la eficiencia de recuperación del fertilizante potasio.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos generales del cultivo del tulipán.

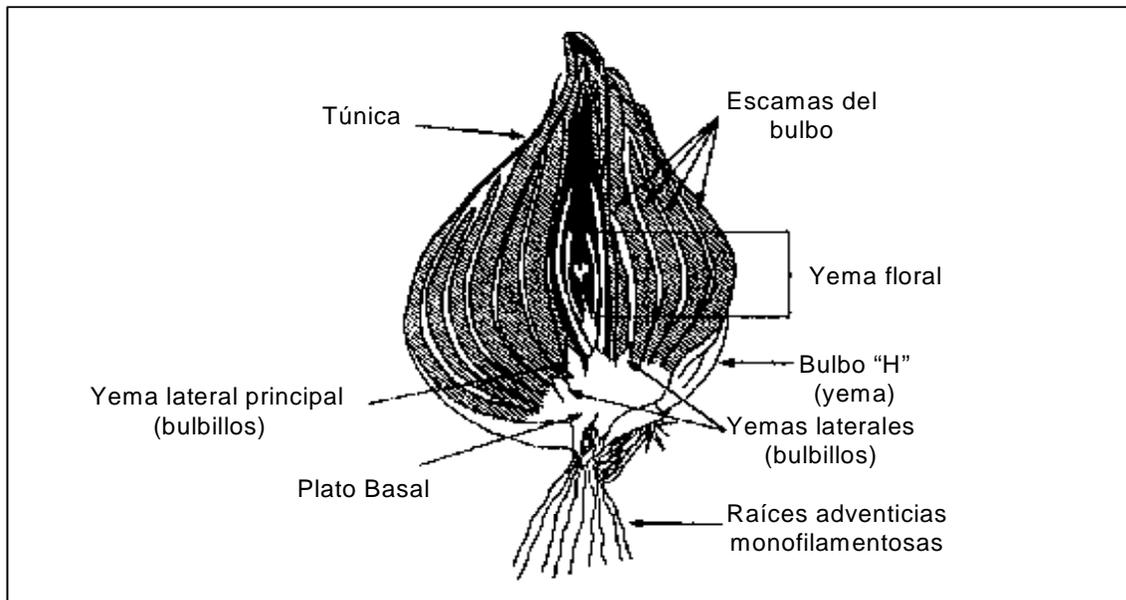
Se abordará someramente aspectos del origen, distribución e historia del tulipán, su clasificación y descripción botánica, aspectos del crecimiento y desarrollo, su propagación y requerimientos edafoclimáticos e hídricos. También se incluirá aspectos agronómicos tales como la plantación, el control de malezas y la cosecha y el almacenamiento de los bulbos.

2.1.1 Origen, distribución e historia. El tulipán (*Tulipa spp. L.*) es una planta monocotiledónea del género *Tulipa* que pertenece a la familia *Liliaceae* (SORIANO, 1991). El centro de origen del género *Tulipa* corresponde a las regiones montañosas de Asia Menor, el sur de Cáucaso, Turquía y Bukhara, encontrándose en países montañosos sobre 4.000 m en el Himalaya (REES, 1972). Según ARMITAGE (1993), el género *Tulipa* fue introducido en Europa en el siglo XVI, luego de un largo período de cultivo y selección realizado en Turquía e Irán.

2.1.2 Clasificación y descripción botánica. Las especies están distribuidas en dos subgéneros, *Eriostemones* y *Leiostemones*, los cuales hasta recientemente no podían ser intercrossados. El subgénero *Eriostemones*, generalmente son de bajo crecimiento y el subgénero *Leiostemones* corresponde a los tulipanes de jardín actuales (DE HERTOUGH y LE NARD, 1993). Los tulipanes cuyas especies originales no han sido determinadas, han sido ubicados en *Tulipa gesneriana*.

Cruzas con *Tulipa fosteriana* y tulipanes de Darwin, crearon el grupo de tulipanes híbridos de Darwin, que han sido de principal importancia comercial (DE HERTOUGH y LE NARD, 1993).

Los tulipanes desde el punto de vista botánico, presentan un grueso bulbo truncado que da lugar a una flor solitaria muy ornamental (SORIANO, 1991). Este bulbo corresponde a la estructura vegetativa subterránea de la planta, el cual poco después de su plantación en otoño, presenta las siguientes estructuras (ver Figura 1): túnica o envoltura externa, plato basal, escamas suculentas adheridas al plato basal, raíces adventicias y yema apical (SCHIAPPACASSE, 1996).



FI

GURA 1 Estructura de un bulbo de tulipán, después de su plantación en otoño.

FUENTE: Adaptada de HERTOIGH y LE NARD (1993).

Los bulbos de tulipán, presentan de dos a seis escamas carnosas concéntricas, unidas a un plato basal, que produce raíces en su superficie basal (SCHIAPPACASSE, 1996). Las yemas están localizadas en las bases internas de las escamas, y generalmente hay una yema por escama. Estas escamas dan origen a los órganos de la planta madre, órganos aéreos desde la yema apical y bulbos hijos desde las yemas laterales, o en el caso de bulbos no florales, un bulbo hijo desde la yema apical (SORIANO, 1991).

Una planta de tulipán no floral, tiene una hoja solitaria. Esta hoja es larga y más ancha que la de las plantas florecidas, y tiene una parte basal bien definida o peciolo, el cual encierra un bulbo joven. El bulbo floral tiene, en contraste un tallo emergente, el cual puede tener 40 cm o más de largo, llevando de tres a cinco hojas simples, enteras y lanceoladas, dependiendo de la variedad y cultivar (REES, 1972).

Normalmente, la flor está constituida de dos niveles, de tres tépalos y tres estambres cada uno, y un gineceo tricarpelado superior con un estigma trilobulado, con bordes irregulares, los cuales se vuelven húmedos y pegajosos cuando la flor está madura (HALEVY, 1983).

La semilla es una cápsula cilíndrica con tres crestas generalmente romas en la punta, pero algunas especies tienen una prolongación terminal de más de un centímetro de largo. Cuando madura, la cápsula se parte desde la punta en tres segmentos, cada uno de los cuales está separado por un septo en dos cavidades, en las cuales las semillas lisas están ordenadas como pilas de monedas, las semillas son aproximadamente triangulares, muy delgadas y lisas. Dentro de un ovario pueden desarrollarse de 200 a 300 semillas (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

Las raíces de los tulipanes no son ramificadas y son enteramente adventicias; ellas llevan una cubierta prominente y no tienen pelos radicales. Las raíces de los tulipanes alcanzan alrededor de 65 cm en buenas condiciones de suelo (REES, 1972).

2.1.3 Crecimiento y desarrollo. Se pueden describir dos ciclos de crecimiento y desarrollo para la planta del tulipán, según el órgano de propagación usado. En el caso de las semillas de tulipán, son sembradas en otoño, ya que necesitan bajas temperaturas para obtener un desarrollo

normal del embrión. El embrión produce una planta con una hoja cotiledonaria, una raíz primaria y un divertículo hueco llamado “dropper”. Este órgano crece en el suelo, alargando el meristema apical encerrado dentro de su punta, y produce un pequeño bulbo. Este pequeño bulbo necesitará de cuatro a cinco ciclos anuales de crecimiento, antes de lograr el tamaño necesario para ser floral (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

En el caso del bulbo de tulipán, éste tiene un ciclo anual de recambio, el cual puede ser dividido en tres fases principales:

Primera Fase: El crecimiento de raíces ocurre en forma rápida después de la plantación en otoño, cuando las temperaturas del suelo disminuyen. La yema apical, la cual ya presenta diferenciados los órganos aéreos, también comienza a alongarse, pero este crecimiento es muy lento durante el invierno (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

Segunda Fase: A inicios de primavera ocurre una rápida elongación del escapo y botón floral y ocurre la antesis. En esta etapa, el bulbo madre comienza a desaparecer y crecen los bulbos hijos (SCHIAPPACASSE, 1996).

Tercera Fase: 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 dentro de ellos (SCHIAPPACASSE, 1996).

El comienzo del estado reproductivo y el final del estado vegetativo, está indicado por el secado del follaje y la maduración del bulbo. Las raíces se desintegran y el bulbo entra en un período de dormancia (HARTMANN y KESTER, 1997). Sin embargo, disecciones periódicas de bulbos muestran que una activa diferenciación de las escamas (florales y vegetativas), suceden en este período. La iniciación floral puede tener lugar entonces y es seguida por el

crecimiento de los primordios (de hojas, flores y tallos), a expensas del material almacenado en el bulbo (REES, 1972). En la naturaleza toda la actividad del bulbo ocurre bajo tierra en este período, en prácticas de horticultura, los bulbos son cosechados, almacenados y distribuidos durante este período de tres a cuatro meses (HARTMANN y KESTER, 1997).

Las partes florales son originadas concéntricamente, y el estado de desarrollo es descrito usando una letra para el órgano y un número para el nivel: **P1, P2, A1, A2, G** (ver Cuadro 1). Previo al estado **P1**, los estados **I** y **II** representan respectivamente, el ápice vegetativo liso verdadero y el ápice engrosado el cual indica el comienzo de la iniciación floral (HALEVY, 1983).

CUADRO 1 Estados vegetativos y reproductivos del ápice de tulipán.

Estado	Descripción
I	Ápice vegetativo.
II	Engrosamiento del ápice inmediatamente antes de la iniciación floral.
P1	Formación de la primera capa del perianto (tépalos).
P2	Formación de la segunda capa del perianto (tépalos).
A1	Formación de la primera capa del androceo (estambres).
A2	Formación de la segunda capa del androceo (estambres).
G	Formación del gineceo trilobulado (pistilo).

FUENTE: DE HERTOIGH y LE NARD (1993).

Los bulbos cosechados a inicios del verano no poseen aún la flor. Con un tratamiento de temperaturas controladas se favorece la formación del embrión floral. Normalmente, en el suelo (bulbo plantado) el estado **G** se alcanza en febrero. Este estado es de gran importancia, ya que sólo después que los bulbos hayan alcanzado el estado **G**, deben ser tratados con frío

(temperaturas inferiores a 9°C), de lo contrario puede ocurrir aborto de flores (SCHIAPPACASSE, 1996).

La misma autora recomienda que si los bulbos no han alcanzado el estado **G**, deben seguir almacenados a temperaturas de 17°C hasta alcanzar ese estado.

El principal factor que determina la capacidad de un bulbo de tulipán para originar una yema floral, es su tamaño, circunferencia o más precisamente su peso (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993). En general, se considera que un bulbo floral de tulipán mide al menos de seis a ocho centímetros de circunferencia, con un peso de seis a ocho gramos (SCHIAPPACASSE, 1996).

2.1.4 Propagación. La propagación del tulipán por semillas, es utilizada en mejoramiento genético para producir nuevos cultivares. Como forma de propagación los productores normalmente no utilizan este método por ser muy lento en comparación con los métodos de propagación vegetativa (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA, 1997 a).

Comercialmente los tulipanes son propagados vegetativamente, lo que se basa en la producción de bulbos hijos por las yemas vegetativas de los bulbos. La razón de propagación está determinada inicialmente por el número de yemas de los bulbos. Sin embargo, no todas las yemas vegetativas producen bulbos viables, siendo la razón promedio de propagación actual de la mayoría de los cultivares entre dos a tres bulbos viables (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

La "separación" es el método más simple de propagación vegetativa de bulbosas. Esto consiste, en la separación manual de los bulbos hijos del bulbo

madre y se realiza al recolectar los bulbos del suelo al final de la temporada (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA, 1997 b). Los bulbos hijos, son removidos y replantados en platabandas o en hileras para crecer hasta alcanzar un tamaño floral. Esto puede requerir muchas estaciones de crecimiento dependiendo del tamaño del bulbo (HARTMANN y KESTER, 1997).

2.1.4.1 Plantación para engorda. La plantación de los bulbos para su engrosamiento se lleva a cabo en otoño, cultivándose de forma normal hasta la floración. Una vez aparecida la flor se cortan los tépalos, dejando la planta y el tallo floral, llevándose a cabo su cultivo con el objeto de que el bulbo sufra un proceso de engrosamiento para alcanzar el tamaño comercial. Si los bulbos recolectados presentan un calibre comercial, estos son plantados el mismo año y florecerán al año siguiente. Los bulbos que no han alcanzado el calibre comercial tras su cultivo, se vuelven a plantar al año siguiente en las mismas condiciones (SORIANO, 1991).

Con respecto a la propagación *in vitro*, SCHIAPPACASSE (1999), considera que falta realizar más investigación para lograr un método óptimo.

2.1.4.2 Eliminación del capullo floral. Cuando comienza la floración, normalmente a inicios de la primavera, y una vez que se ha comprobado la autenticidad varietal, se procede a quitar los capullos florales de las plantas dejando los tallos, operación que puede realizarse tanto manualmente como por medio de máquinas especializadas (BAÑON *et al.*, 1993).

Lo que se pretende, es dejar a la planta con todas las hojas, para que ésta pueda producir el máximo de fotosintatos durante los meses posteriores y en consecuencia incrementar el rendimiento de bulbillos. Por otra parte se

evita que los tépalos que estén afectados de algunas enfermedades, puedan llegar al suelo y lo infecten (BAÑON *et al.*, 1993).

Los tépalos deben ser quemados o transportados lejos hasta un terreno en donde no sea probable que se vaya a dedicar al cultivo de bulbos (BAÑON *et al.*, 1993).

La operación de corte del capullo floral conlleva el riesgo de que el tirón pueda aflojar la unión de la raíz al suelo y ser causa de una muerte prematura, lo que exige un extremado cuidado en su realización (BAÑON *et al.*, 1993).

2.1.4.3 Tiempo de engorda. El tiempo necesario para alcanzar el calibre comercial está en función del calibre inicial del bulbilllo. Así, si utilizamos bulbilllos de ocho o más centímetros de circunferencia, normalmente en una estación de crecimiento se alcanza el calibre comercial, con bulbilllos de cinco a siete centímetros de circunferencia, se necesitaran dos estaciones y con los de calibre inferior hasta tres (BAÑON *et al.*, 1993).

2.1.5 Requerimientos edafoclimáticos. El tulipán se puede cultivar exitosamente en distintos suelos, siempre y cuando éstos posean buen drenaje. Es deseable un suelo que no presente impedimentos mecánicos como piedras o capas compactadas, los cuales reducen el crecimiento de las raíces y producen daño al cosechar el bulbo (SCHIAPPACASSE, 1996). Si bien, el cultivo del tulipán es mayormente practicado en suelos arenosos y limosos, ellos también pueden ser cultivados sobre arcillas livianas (REES, 1972).

Los tulipanes suelen prosperar tanto en suelos ácidos como alcalinos, pero prefieren los suelos neutros o ligeramente alcalinos (SORIANO, 1991). REES (1972) afirma que un pH 6 - 7,5 es apropiado.

Debido a las posibilidades de cosecha mecanizada de bulbos, el tipo de suelo determina el sistema de plantación de los bulbos, usando, camas o camellones. Plantación en camas es usada sólo en suelos arenosos, mientras que la plantación en camellones es usada en suelos pesados (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

Con relación al clima, para obtener flores de buena calidad, a la vez que bulbos hijos en mayor número y tamaño, se requiere un clima de primaveras largas y frías (SCHIAPPACASSE, 1996). A su vez, DE HERTOOGH y LE NARD (1993) afirman que la región óptima para la producción de bulbos de tulipán está caracterizada por temperaturas primaverales de 12-15°C, combinadas con un período de dos a tres meses con una alta intensidad de luz durante el crecimiento del bulbo.

La temperatura es uno de los factores principales que afecta el crecimiento y desarrollo de las bulbosas (SCHIAPPACASSE, 1996). La temperatura controla la progresión desde los estados vegetativos hasta la floración. La diferenciación del primordio floral ocurre a temperaturas moderadamente tibias a finales de verano o comienzos de otoño en el campo o en almacenamiento. La exposición subsecuente a bajas temperaturas pero sobre las de congelación, es requerida para promover la elongación del tallo floral. Como las temperaturas aumentan en primavera, el tallo floral elonga y la planta luego florece (HARTMANN y KESTER, 1997).

SCHIAPPACASSE (1996), estima que el requerimiento de frío del bulbo es de 9 a 12 semanas a 5°C o 16 semanas a 9°C. Todo el frío necesario puede ser recibido por los bulbos cultivados al aire libre, si la zona en que se cultiva es lo suficientemente fría. De no ser así, es necesario el uso de cámaras de frío para proveer en forma total o parcial el requisito.

Los bulbos una vez plantados pueden soportar temperaturas cercanas a -10°C por 24 horas. Después de la brotación del bulbo, con temperaturas inferiores a -1°C en el suelo, se daña la parte aérea y a temperaturas de -5°C en el suelo, ocurre aborto de la yema floral o no se elonga el escapo floral (SCHIAPPACASSE, 1996).

2.1.6 Requerimientos hídricos. El sistema radical del tulipán presenta bajo número de raíces, las cuales no son ramificadas, no presentan pelos radicales y están limitadas a una profundidad de alrededor de 65 cm, además, los estomas de esta especie están continuamente abiertos, excepto por alrededor de tres horas después de la puesta del sol y el cierre durante el día ocurre sólo cuando las hojas están marchitas. Estos factores, contribuyen a la sensibilidad del tulipán al estrés hídrico, especialmente en tiempos de crecimiento rápido o altas tasas de transpiración (REES, 1972).

Un adecuado suministro de agua, es necesario durante toda la estación de crecimiento del cultivo. Los efectos de las deficiencias de agua en el cultivo del tulipán son principalmente: retardo en el crecimiento, reducción en el número, altura y tamaño de las flores, disminución de área foliar, acortamiento del período vegetativo y menor rendimiento de bulbos (ORTEGA y MEDIAVILLA, 1996).

Durante el período de crecimiento de los bulbos, la disponibilidad de agua en la zona de las raíces es crítica. Un nivel bajo de agua en el suelo produce una senescencia temprana de la parte aérea, repercutiendo directamente en el rendimiento de bulbos. Para la producción de un kilogramo de peso fresco de bulbos se necesitan aproximadamente 92 litros de agua (DE HERTOGH y LE NARD, 1993).

En plantaciones al aire libre, un aporte importante de los requerimientos hídricos totales es cubierto por las precipitaciones, dependiendo de la localización de la explotación, necesitándose en todo caso la adopción de un sistema de riego desde primavera hasta comienzos de verano, cuando se retiran los bulbos del suelo (ORTEGA y MEDIAVILLA, 1996). Se deja de regar cuando el follaje comienza a amarillear, también hay que fijarse en el estado de las raíces, ya que si éstas aun están vivas se debe seguir regando (SCHIAPPACASSE, 1999).

Dentro de las opciones de sistemas de riego tecnificado que se utilizan en el cultivo de tulipanes, están el riego por aspersión y el riego por cintas de goteo. De los sistemas mencionados, la tendencia actual es hacia la utilización de sistemas de riego localizado, de alta frecuencia como el goteo, donde la gran ventaja sobre la aspersión es hacer más eficiente el uso de agua y de los fertilizantes (ORTEGA y MEDIAVILLA, 1996).

2.1.7 Plantación. La plantación puede ser efectuada en camellones, en platabandas o en mesas. En el primer caso se pueden utilizar distancias de 67 a 70 cm entre camellones, con una banda central de 20 a 25 cm de ancho en cada camellón, donde van ubicados los bulbos. En el sistema de platabandas, éstas pueden tener un ancho desde 1 m hasta 1,5 m, con pasillos de 30 a 40 cm (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA, 1997 a).

Es una práctica común, la desinfección de los bulbos antes de plantar. Para ello se recomienda el uso de fungicidas (y en algunos casos también se incluye algún nematicida), ya sea en polvo o en solución. Antes de plantar, algunos productores remueven la túnica del bulbo en la zona donde se producirán las raíces. Esta práctica permite detectar bulbos enfermos y

favorecer un rápido y uniforme crecimiento de las raíces (SCHIAPPACASSE, 1996).

Cuando se determina la fecha de plantación para tulipanes, se deben tomar en cuenta ciertos parámetros: la temperatura del suelo debe ser menor a 16°C, ya que temperaturas más altas promueven infecciones por *Fusarium*; con suelos pesados, la plantación debe realizarse bajo condiciones de adecuada humedad, para evitar compactación del suelo; y el desarrollo de las raíces debe ser máximo antes del fin del invierno, cuando ocurre el crecimiento aéreo activo. En un cultivo al aire libre, los bulbos son plantados en otoño con temperaturas decrecientes (SCHIAPPACASSE, 1996).

La densidad de plantación depende principalmente del tamaño del bulbo y del sistema de plantación (ver Cuadro 2 y 3).

CUADRO 2 Sistema de plantación en platabandas: densidad de plantación (bulbos por metro cuadrado).

Tamaño (cm)	Holanda	Alemania
<6	224-245	80
6/7	140-153	53
7/8	100-110	48
8/9	84-92	42
9/10	73-80	38
10/11	62-67	35
11/12	39-49	32
>12	-	26

FUENTE: INIA (1997 a).

La profundidad de plantación está en función del tipo de suelo y calibre del bulbo. En un cultivo al aire libre se recomienda que existan entre 10 a 15

cm desde la base del bulbo a la superficie del suelo. Los bulbos para forzado se suelen plantar más superficiales (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA, 1997 b).

CUADRO 3 Densidad de plantación (bulbos por metro), en sistema de camellones.

Tamaño (cm)	Holanda		Inglaterra		
	Distancia entre centros		Apeldoorn	Rose Copland	Otros
	65 cm	75 cm			
<7	80-115	90-130	-	-	-
7/8	60-65	75-80	-	-	-
8/9	55-60	70-75	75	66	39
9/10	55	60	-	-	-
10/11	50	55	46	36	23
>12	-	-	39	23	20

FUENTE: INIA (1997 a).

2.1.8 Control de malezas. La producción de tulipanes puede ser reducida por poblaciones de malezas. De este modo, es aconsejable realizar prácticas de limpieza desde la plantación a la cosecha. El programa de manejo de malezas variará para cada área de producción. Este depende de los herbicidas aprobados, tipos de suelos, lluvia caída y especies de malezas. Otro factor importante es que los bulbos deben ser plantados a una profundidad adecuada tal que puedan ser usados herbicidas de preemergencia insolubles (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993). Es posible el uso de herbicidas de acción total aplicados antes de la emergencia de las hojas del cultivo, con malezas presentes (SCHIAPPACASSE, 1999).

2.1.9 Cosecha y almacenamiento de bulbos. Algunas semanas después de la floración se inicia la senescencia del follaje. Se deja de regar en ese momento. Cuando el follaje está completamente seco se pueden cosechar los

bulbos, tanto en forma manual como mecanizada (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA, 1997 b).

Después de cosechados, los bulbos se lavan con agua, se desinfectan con fungicida, se secan y se seleccionan por calibre (SCHIAPPACASSE, 1996).

El almacenamiento de los bulbos, afecta subsecuentemente al crecimiento de las plantas. Almacenamiento a bajas temperaturas, promueve el crecimiento del escapo y almacenamiento a altas temperaturas, produce efectos retardantes en el crecimiento del escapo. Estos efectos son regulados por la duración del período de almacenamiento y la plantación de los bulbos en el otoño. Ellos subsecuentemente reciben un tratamiento de frío en el invierno en forma natural (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

Las recomendaciones para el almacenamiento de los bulbos para plantación son controversiales. REES (1972), concluyó que 20°C desde la cosecha a la plantación, produce rendimientos mayores de bulbos, cuyos tamaños fueron mayores a 10 cm. El INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA, (1997 b), recomienda empezar con temperaturas de 30°C por las primeras 4 a 6 semanas después de cosechar, para luego ir disminuyendo las temperaturas hasta la plantación.

En Holanda, se recomiendan inicialmente temperaturas de 23°C a 25°C, según el cultivar, por las primeras 3 a 4 semanas, para luego ir disminuyendo hasta temperaturas de 15°C a 17°C. Esta disminución de la temperatura desde la cosecha a la plantación, se debe a que es una situación que ocurre bajo condiciones ambientales naturales (DE HERTOOGH y LE NARD, 1993).

2.2 Fertilización de los cultivos.

Las necesidades de fertilización de los cultivos se han establecido basándose en resultados de la experiencia de dosis de los fertilizantes en condiciones de campo. La respuesta de la fertilización empírica se basa en una acción (fertilización) por la cual se obtiene una reacción (producción), ésto se visualiza como una “caja negra”: hay una entrada de dosis de fertilizante y una salida de rendimientos que se explica por algún modelo matemático-estadístico (RODRIGUEZ, 1993). El mismo autor propuso un método denominado “método razonado”, en el cual se establecen los principios de la nutrición de los cultivos y basándose en ellos, se simula, predice, o explica racionalmente la respuesta de los cultivos a la fertilización en cualquier caso particular.

En el método razonado, la norma de fertilización está determinada por la demanda de nutrientes de un cultivo, el suministro de nutrientes del suelo y la eficiencia de la fertilización (RODRIGUEZ, 1993).

En un determinado agrosistema, la biomasa de cultivo alcanzable, es variable según la zona agrícola en la cual se encuentre y genera una demanda de nutrientes para satisfacer sus necesidades metabólicas. La demanda de nutrientes de la biomasa de los cultivos, en especial nitrógeno y fósforo, no es satisfecha con el suministro de nutrientes que es capaz de entregar el suelo, y se produce un déficit nutricional del cultivo. El objetivo de la fertilización es satisfacer éste déficit, de forma de obtener la producción alcanzable del cultivo, en un determinado agroecosistema. El cultivo no recupera todo el fertilizante agregado, por lo que hay que considerar una cierta eficiencia de la fertilización de los cultivos (RODRIGUEZ, 1993).

De acuerdo a lo señalado anteriormente, RODRÍGUEZ (1993), propuso la siguiente formulación de estos parámetros:

$$DF = \frac{D - S}{E} \quad (2.1)$$

donde,

- DF = Dosis de fertilizante (kg/ha).
 D = Demanda nutriente del cultivo (kg/ha).
 S = Suministro nutriente del suelo (kg/ha).
 E = Eficiencia de fertilización (kg/kg).

Para que todo esto pueda ser aplicado, la fertilización estimada, debe adecuarse a las condiciones socioeconómicas del ámbito productivo (RODRIGUEZ, 1993).

2.2.1 Fertilización potásica. Esta fertilización debe realizarse al momento de la plantación y en forma localizada en la línea de plantación cinco centímetros bajo los bulbos. Para la mayoría de las condiciones de los suelos del país, se debe considerar que la forma más eficiente de la aplicación de potasio es un 70% del necesario para el cultivo en la plantación. De esta forma, se utilizan aplicaciones de 30% de las necesidades de potasio más bien con el objeto de mantener los niveles nutricionales críticos en el suelo, particularmente en el caso de aplicaciones de fertirrigación (PINOCHET, 1999 a).

El cálculo de la dosis de fertilización potásica, requiere en un principio conocer la demanda de potasio del cultivo para un determinado rendimiento alcanzable de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y del manejo desarrollado por el productor (RODRIGUEZ, 1993). Una vez calculada la demanda se requiere calcular el suministro de potasio del suelo (RODRIGUEZ, 1993). Una vez determinados estos dos parámetros, la dosis de fertilizante se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$FK = \frac{DEK - SK}{EFK} \times 1,2 \quad (2.2)$$

donde,

- FK = Fertilización potásica (kg K₂O/ha).
 DEK = Demanda de potasio del cultivo (kg K₂O/ha).
 SK = Suministro de potasio del suelo (kg K₂O/ha).
 EFK = Fracción recuperada del fertilizante agregado.
 1,2 = Factor de corrección K₂O.

2.2.2 Demanda de nutrientes. Demanda se refiere a la necesidad de nutrientes (potasio), que es requerida para que un cultivo exprese un determinado potencial productivo, es decir, la productividad alcanzable en el agrosistema y este a su vez es dependiente del ambiente (clima – cultivo – suelo). Su base, está fundada en que los nutrientes esenciales son necesarios en ciertas cantidades para cumplir con los roles metabólicos y fisiológicos del cultivo (PINOCHET, 1999 c).

La demanda de nutrientes depende principalmente de dos parámetros: la productividad a alcanzar en el agrosistema (**PP**) y el requerimiento interno del nutriente (**Ri**) (PINOCHET, 1999 c).

El requerimiento interno, es la cantidad o concentración mínima óptima de nutriente requerida para realizar las funciones estructurales y/o metabólicas que requiere el cultivo. Es la cantidad mínima, ya que las plantas pueden almacenar nutrientes más allá de lo que necesita. Es variable a través del tiempo, en los nutrientes móviles en la planta (N, P, K, Mg, Mo y Cl), pero relativamente constante en los nutrientes inmóviles o poco móviles (Ca, S, Fe, Zn, Mn, Cu y B) (PINOCHET, 1999 c). Este parámetro representa la concentración del nutriente por unidad de materia seca producida, al momento de la cosecha (PINOCHET, 1999 b).

Para conocer la absorción total de nutrientes de un cultivo, que corresponde a la demanda de nutrientes, el requerimiento interno se mide en la cosecha del tratamiento óptimo de dosificación del nutriente en un ensayo de fertilización. También, es posible hacerlo a través del tiempo, para obtener el ritmo de absorción del nutriente por el cultivo. De esta forma, es posible conocer como se desarrolla la demanda de los nutrientes a través del tiempo, tanto en la tasa de absorción, como la translocación de nutrientes móviles, en los diferentes estados fenológicos (PINOCHET, 1999 b).

Debido a que normalmente los agricultores miden su rendimiento en unidades de producto cosechado y no en unidades de materia seca total producida, se hace necesario para transformar el rendimiento en materia seca total producida, conocer dos parámetros adicionales, que son característicos de los cultivos en términos agronómicos: el índice de cosecha (**IC**), y la humedad de cosecha del producto (**HC**) (PINOCHET, 1999 b).

El índice de extracción en la cosecha, que corresponde a la cantidad de nutriente que se encuentra en el producto cosechado con respecto al total absorbido. Desde este punto de vista se define el índice de cosecha (**IC**), que corresponde a la producción de la materia seca del cultivo que está en el producto cosechado en relación con la cantidad total de materia seca producida por el cultivo (PINOCHET, 1999 c). Según RODRIGUEZ (1993), la formulación para determinar el índice de cosecha, es la siguiente:

$$IC = \frac{kg\ MS\ PC}{kg\ MS\ PA + kg\ MS\ PC} \quad (2.3)$$

donde,

IC = Índice de cosecha (kg/kg).

MS = Materia seca (kg/ha).

PC = Producto cosechado.

PA = Parte aérea.

Para calcular la demanda de nutrientes del cultivo (absorción total), es necesario conocer la productividad a alcanzar (**PP, q ha⁻¹**), la humedad de cosecha de los cultivos (**HC**), el índice de cosecha (**IC**) y el requerimiento interno del nutriente (**Ri, en porcentaje**) (PINOCHET, 1999 c).

Matemáticamente estas relaciones pueden ser representadas por la siguiente ecuación:

$$Demanda = \frac{PP \times (1 - HC)}{IC} \times Ri \quad (2.4)$$

donde,

<i>Demanda</i>	=	Demanda de un nutriente determinado (kg/ha).
<i>PP</i>	=	Potencial productivo o biomasa de cultivo alcanzable en un determinado agro sistema (q/ha).
<i>HC</i>	=	Humedad de cosecha del producto (kg/kg).
<i>IC</i>	=	Índice de cosecha del producto (kg/kg).
<i>Ri</i>	=	Requerimiento interno del nutriente (kg/100 kg).

A excepción del potencial productivo, todos los otros parámetros son propios del cultivo. En general, tanto el IC como el Ri tienen un fundamento fisiológico (RODRIGUEZ, 1993).

Datos de producción de materia seca total, rendimiento de bulbos, índice de cosecha y humedad de cosecha, son dados por THOMPSON y TAYLOR (1979), (Cuadro 4), quienes realizaron un experimento de campo para estimar el rendimiento potencial del tulipán variedad Apeldoorn en una localidad particular. Se comparó el crecimiento y rendimiento de este cultivo bajo

prácticas normales y bajo condiciones donde las limitantes sobre el crecimiento fueron minimizadas tanto como fue posible.

Para cada zona agroecológica, el productor debe determinar el rendimiento de su cultivo, el cual puede expresarse como un porcentaje del potencial productivo de esa zona, denominándose “rendimiento esperado”. Una vez conocido el rendimiento esperado, es posible calcular la demanda esperada de potasio como porcentaje de la demanda potencial (MATUS, 1996).

CUADRO 4 Parámetro del cultivo del tulipán bajo óptimas condiciones de crecimiento y bajo manejo convencional.

Parámetro	Parcelas tratadas	Parcelas control
Materia seca total (t/ha)	18,2	12,6
Peso seco del bulbo (t/ha)	15,4	10,1
Índice de cosecha (t/t)	0,85	0,80
Peso húmedo del bulbo (t/ha)	42,4	26,3
Humedad de cosecha ¹ (t/t)	0,64	0,62

¹Datos calculados sobre la base de los presentados por los autores.

FUENTE: Adaptado de THOMPSON y TAYLOR (1979).

2.2.2.1 Demanda de potasio. En relación con el potasio, la demanda de este nutriente en un cultivo se calcula conociendo su potencial productivo de un agrosistema determinado, su requerimiento interno de potasio y su humedad e índice de cosecha (RODRIGUEZ, 1993).

Una vez estimada la biomasa total del cultivo, se requiere conocer la concentración mínima de potasio en la cosecha del cultivo, que permita la máxima producción económica con una nutrición potásica adecuada (RODRIGUEZ, 1993).

El potasio, aunque no forma parte de los principios esenciales (glúcidos, lípidos y próticos), es absorbido por la planta en cantidades importantes. Constituye parte de las materias minerales de los vegetales, por lo que sus cenizas contienen una gran proporción de este elemento. Las plantas lo absorben bajo la forma de catión potasio (K^{+1}) (FUENTES, 1994).

El papel del potasio en la planta es muy variado. Forma parte de un gran número de enzimas, por lo que regula muchas funciones de la planta. Interviene en la fotosíntesis, favoreciendo la síntesis de carbohidratos, así como el movimiento de estos compuestos y su acumulación en los órganos de reserva. Por este motivo, las plantas que se cultivan por sus reservas en carbohidratos (plantas bulbosas) responden muy bien a los aportes de potasio (FUENTES, 1994).

El potasio, favorece el mejor aprovechamiento del agua por la planta, debido a que contribuye a mantener la turgencia celular, favorece la resistencia de la planta al frío y a las heladas e incrementa su resistencia a la salinidad y a los parásitos. La deficiencia de potasio se manifiesta por un retraso en el crecimiento de las plantas, siendo la parte más afectada aquellas que acumulan sustancias de reserva (fruto, semilla, bulbos) (FUENTES, 1994).

Los valores críticos en el suelo para los macronutrientes, fósforo y potasio han sido estimados en función de los requerimientos internos y de la eficiencia con que estos cultivos recuperan estos nutrientes poco móviles desde el suelo. En general, los cultivos de plantas geófitas son poco eficientes en la recuperación de los nutrientes adquiridos por las plantas a través del mecanismo de difusión, debido a la baja densidad radicular que alcanzan en el suelo. Este fenómeno es muy importante en el caso del potasio que se suma al alto requerimiento interno en este nutriente presentado por los cultivos de flores, muy importante, tanto en calidad como rendimiento (PINOCHET, 1999 a).

En el Cuadro 5, se muestran los valores de disponibilidad, estimados para los cultivos de plantas geófitas. Estos valores constituyen una primera aproximación a las necesidades de éstos cultivos, los cuales deben ser ratificados con experiencias de plantas de cultivo para alimento. (PINOCHET, 1999 a).

CUADRO 5 Niveles críticos de potasio intercambiable (Ki) en el suelo para una óptima nutrición de los cultivos de plantas geófitas.

Tipo de geófitas	Disponibilidad según rendimiento esperado (mg Ki / kg suelo)			
	Alto		Medio	
	Flor	Órgano reserva	Flor	Órgano reserva
Bulbos duros (ej.: tulipán)	140	200	100	140
Bulbos blandos (ej.: liliium)	140	200	100	140
Cormos	160	230	110	160

FUENTE: PINOCHET (1999 a)

2.2.3 Suministro de nutrientes. La evaluación de la disponibilidad de nutrientes a través de índices químicos es utilizada como una medida del suministro del suelo. Estos índices son entregados en un análisis de la disponibilidad en una muestra representativa del sitio que se desea cultivar. En general, la profundidad de suelo que se analiza para cultivos corresponde a los primeros 20 cm, que es la capa arable (PINOCHET, 1999 b). El análisis de suelo es adecuado para potasio y fósforo, pero no es satisfactorio para nitrógeno, ya que el nitrógeno en el suelo es variable, debido a que sufre pérdidas por lixiviación y desnitrificación, o ganancias por mineralización desde la materia orgánica del suelo (MATUS, 1996).

2.2.3.1 Suministro de potasio. La estimación del suministro de potasio del suelo se basa en el contenido de potasio intercambiable (**Ki**) determinado por el análisis de suelo. Sin embargo, el Ki es sólo un índice del potasio lábil del suelo o del suministro de potasio del suelo. Para conocer el suministro real de potasio a partir del Ki se debe estimar la eficiencia de absorción de potasio de los diferentes cultivos (RODRIGUEZ, 1993). Sin embargo, el contenido de Ki necesario para lograr la absorción de potasio corresponde al rendimiento máximo alcanzable, varía de acuerdo a la capacidad tampón de los suelos. Suelos con una mayor capacidad tampón requieren un valor de Ki más alto ya que, parte del pool de Ki está retenido con mayor intensidad (RODRIGUEZ, 1993).

Al disminuir la eficiencia de absorción, el suministro disminuye y el déficit nutricional se amplía. Esto explica, que ante un mismo contenido de Ki en el suelo el déficit nutricional entre la demanda de potasio del cultivo y el suministro del suelo puede ser muy diferente (RODRIGUEZ, 1993). En la Figura 2 se muestra un esquema de la dinámica del potasio en el suelo. Según FUENTES (1994), el sistema del potasio en el suelo consta de los siguientes componentes:

- el pool del potasio precipitado.
- el pool físicamente apartado de la materia orgánica.
- el pool del potasio estructural.
- el pool del potasio adsorbido por el suelo.
- el pool del potasio soluble.

De esta forma RODRIGUEZ (1993), calcula el suministro de potasio según la siguiente expresión matemática:

$$SK = Ki \times EA \quad (2.5)$$

donde:

SK = Suministro de potasio (kg/ha).

Ki = Potasio intercambiable (ppm).

EA = Eficiencia de absorción del cultivo según CTK (capacidad tampón de potasio) del suelo (kg potasio absorbibles / ppm Ki).

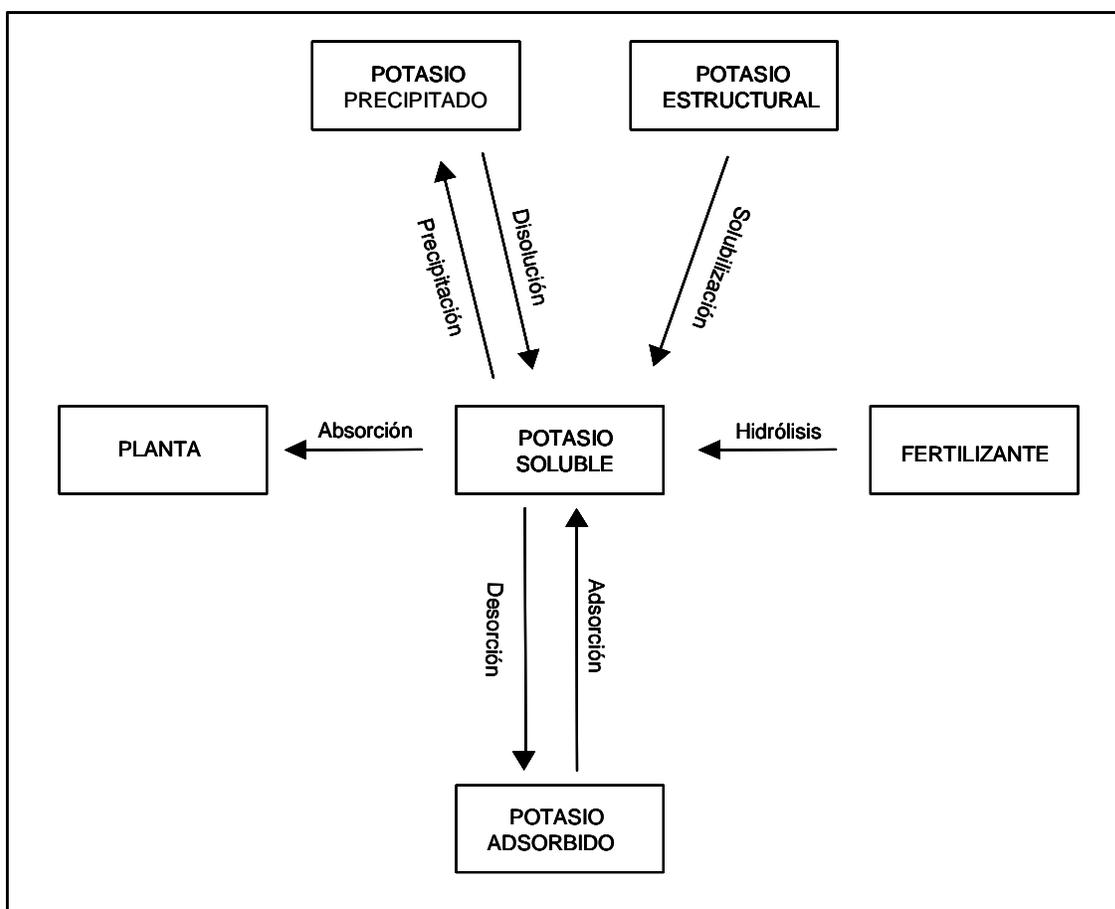


FIGURA 2 Dinámica del potasio en el suelo.

FUENTE: Adaptado de FUENTES (1994).

2.2.4 Eficiencia de fertilización. El cultivo no recupera todo el fertilizante agregado, ya que éste sufre diversas pérdidas en su interacción con el suelo. Esto conduce a considerar una eficiencia de fertilización de los cultivos según el agrosistema, la cual incluye tanto las pérdidas generales por interacciones

suelo - fertilizante como las generadas por interacciones cultivo - fertilizante (RODRIGUEZ, 1993).

2.2.4.1 Eficiencia de fertilización potásica. El déficit producido entre la demanda de potasio del cultivo y el suministro de potasio del suelo debe ser corregido mediante la fertilización. Sin embargo, el cultivo no puede recuperar todo el fertilizante ya que una fracción pasa a formas no intercambiables de acuerdo al potasio agregado que permanece disponible (RODRIGUEZ, 1993).

La formulación de la eficiencia de la fertilización es la siguiente:

$$EFK = (BK \times EA) / 2 da \quad (2.6)$$

donde,

EFK = Eficiencia de la fertilización (%).

BK = Fracción del potasio agregado que permanece disponible.

EA = Eficiencia de absorción del cultivo (%).

2da = Coeficiente de transformación de ppm a kg/ha.

(Densidad aparente del suelo a 0 – 20 cm).

Por otra parte, la fracción que queda disponible en forma intercambiable (K_i), es absorbida de acuerdo a la eficiencia de absorción del cultivo y a la capacidad tampón de las agrupaciones de suelos en que estos se desarrollen (RODRIGUEZ, 1993).

3 MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Material.

El ensayo fue establecido el 4 de junio de 1999 en la Estación Experimental Santa Rosa perteneciente a la Universidad Austral de Chile, la cual se ubica aproximadamente a una altitud de 9 metros sobre el nivel del mar (msnm), y entre los paralelos 39° 45' 30" a 39° 47' 30" Latitud Sur y los meridianos 73° 14' 55" a 73° 13' 5" Longitud Oeste. De acuerdo a la división político administrativa de Chile, la Estación Experimental Santa Rosa se encuentra ubicada en la provincia y comuna de Valdivia, Décima Región de Los Lagos (NISSEN, 1974).

3.1.1 Características edáficas del lugar de ensayo. El suelo del lugar de ensayo está clasificado como un *Hapludand*, conocido localmente como trumao, correspondiente a la serie Valdivia. Esta serie se encuentra en la depresión de San José, a una altura de 9 a 20 msnm, presentándose en forma de cenizas volcánicas sobre depósitos marinos denominados cancagua, que corresponden a una toba más o menos cementada mezclada con clastos alterados. La topografía es compleja con pendientes dominantes de 3% a 8% y sectores ligeramente ondulados con pendientes de 2% a 5%, con una profundidad de suelo mayor a 2 m. De textura media a fina con capacidad de uso potencial Clase II (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IREN)- CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO)- UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (UACH), 1978).

Las características químicas del lugar del ensayo se obtuvieron a través de un análisis químico de suelos, realizado el 15 de marzo de 1999 en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad

Austral de Chile. Los datos obtenidos de este análisis se presentan en el Cuadro 6.

CUADRO 6 Análisis químico de suelos del lugar de ensayo.

Parámetros	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
pH al agua	4,9	4,9	5,2
pH (CaCl ₂)	4,4	4,5	4,6
Bases			
Ca (cmol (+)/kg)	1,00	1,10	1,10
Mg (cmol (+)/kg)	0,20	0,20	0,20
Na (cmol (+)/kg)	0,07	0,07	0,07
K (cmol (+)/kg)	0,40	0,40	0,40
K (mg/kg)	156	156	156
Suma de bases (Cmol (+)/kg)	1,67	1,77	1,77
Al intercambiable (Cmol (+)/kg)	0,60	0,54	0,33
% Saturación de aluminio	26,4	23,4	15,3
P – Olsen (mg/kg)	35,1	28,7	28,7
Materia orgánica (%)	13,3	14,2	13,3
Nitrógeno Mineral (mg/kg)	20,3	14,7	17,7

3.1.2 Material vegetal. Los bulbos semilla de tulipán utilizados fueron producidos y facilitados por la empresa Bulbos de los Andes S.A.. Estos bulbos corresponden a la variedad “Negrita” de calibre 7-9 cm.

3.1.3 Fertilizantes. Las fuentes que fueron utilizadas para el suministro de Nitrógeno, Fósforo y Potasio son: SuperNitro (neutralizado), Súper fosfato triple y Sulfato de potasio, respectivamente. En el Cuadro 7 se presentan los tres primeros, junto a las concentraciones del nutriente principal y de los nutrientes secundarios que aporta.

CUADRO 7 Fertilizantes utilizados y las concentraciones del nutriente principal y de los nutrientes secundarios que aporta.

Fertilizantes	% Nutriente principal	% Nutrientes secundarios
SuperNitro	25 N	18,5 Na
Super fosfato triple	46 P ₂ O ₅	20,0 CaO
Sulfato de potasio	50 K ₂ O	20,0 S

FUENTE: Adaptado de PINOCHET (1999 d).

En el Cuadro 8 se presenta la composición química de la mezcla de micronutrientes aplicadas en el ensayo.

CUADRO 8 Composición química de la mezcla de micronutrientes aplicada en el ensayo.

Elemento	% del elemento en la mezcla
Sulfato de magnesio	20
Oxido de magnesio	10
Bórax	25
Sulfato de zinc	10
Sulfato de cobre	6
Trióxido de molibdeno	1
Carbonato de calcio	28
TOTAL	100

3.2 Método.

El ensayo, consistió en el cultivo de tulipanes al aire libre, con cinco tratamientos o dosis de fertilización potásica. Este ensayo de dosificación junto con muestreos periódicos de las plantas permite obtener parámetros de demanda de potasio, tasa de absorción de potasio y tasas de crecimiento del cultivo en los diferentes estados fonológicos.

3.2.1 Antecedentes generales del ensayo. El ensayo, consistió en el cultivo de tulipanes, bajo cinco tratamientos o dosis de fertilización potásica, de modo de caracterizar la absorción de potasio de la variedad frente a distintos suministros de este elemento. Esto se realizó a través de muestreos periódicos de bulbos y su correspondiente parte aérea, y la determinación posterior de la concentración de potasio en este material vegetal.

3.2.2 Diseño experimental del ensayo. El diseño del ensayo corresponde a un diseño de bloques completos aleatorios, para lo cual se dividió el terreno en tres bloques en forma transversal a la pendiente, y los tratamientos fueron distribuidos al azar dentro de cada bloque. El diseño del ensayo se presenta en la Figura 3:

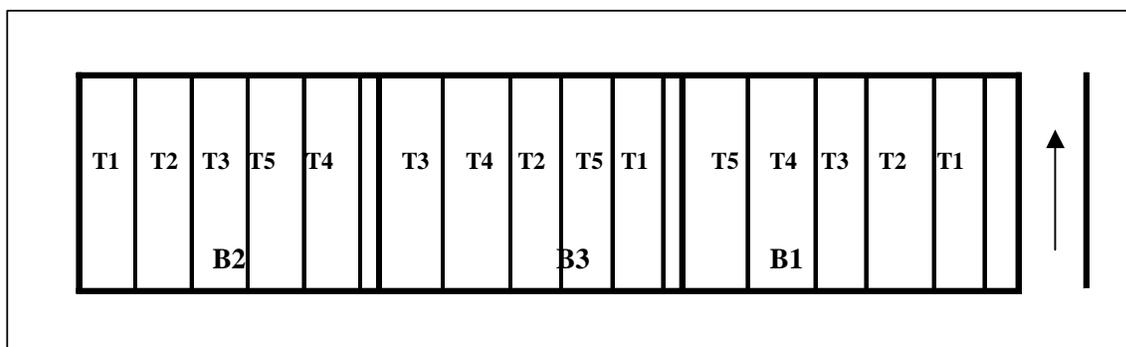


FIGURA 3 Diseño experimental del ensayo.

donde,

T1, T2, T3, T4 y T5 = Tratamientos o dosis de fertilización potásica.

B1, B2, B3 = Bloques.

—————▶ = Camino de acceso al Fundo Santa Rosa.

3.2.3 Fertilización del ensayo. Se utilizaron cuatro dosis de fertilización potásica más un testigo (sin fertilización), calculadas según los estándares de

fertilización ocupados en el establecimiento en el cultivo de la papa. De esta manera se diseñaron dosis de potasio, las cuales se presentan en el Cuadro 9:

Para que el crecimiento y desarrollo de la variedad no sea limitado por deficiencia de otros nutrientes se diseñaron dosis superiores al óptimo de nitrógeno, fósforo y magnesio: 120 kg N/ha, 300 kg P₂O₅ y 50 kg de MgO/ha, respectivamente. En el caso de los micronutrientes, se utilizó el mismo criterio expuesto anteriormente, aplicándose 1,5 kg/ha de una mezcla de micronutrientes, cuya composición se mostró en el Cuadro 8, además de 10 kg/ha de bórax.

CUADRO 9 Dosis de fertilización potásica a aplicar en el ensayo.

Tratamiento (Nº)	kg K ₂ O/ha
1(testigo)	0
2	75
3	150
4	225
5	350

El fertilizante nitrogenado fue aplicado al voleo y en forma parcializada, aplicándose un tercio de la dosis inmediatamente después de la emergencia de las plantas de tulipán y los dos tercios restantes luego de la primera desbotonadura. Los fertilizantes fosforado y potásico, fueron aplicados el día de la plantación y localizados bajo los bulbos. Con respecto a los micronutrientes, se aplicó una mezcla de éstos a la plantación y en forma localizada bajo los bulbos. El boro se suministró en forma de bórax el mismo día y al voleo sobre las platabandas de plantación.

3.2.4 Manejo agronómico del ensayo. El cultivo se realizó al aire libre, con un manejo agronomico para producción de bulbos, el cual incluye una desbotonadura al momento de la emisión del botón floral.

3.2.4.1 Preparación de suelos. Debido a que el terreno se encontraba cubierto por restos de un cultivo anterior de espárragos, se realizó una pasada de arado de discos, seguida de dos pasadas de rastra offset, para picar e incorporar este material al suelo.

Además, para evitar problemas fitosanitarios, el suelo fue desinfectado con un producto cuyo ingrediente activo es Dazomet¹, aplicado en una dosis de 4 kg/ha, al voleo y luego incorporado con un rodillo. Este producto se dejó actuar por una semana y luego se realizaron tres pasadas de rastra espaciadas por dos días, para airear el suelo. Finalmente, se realizaron dos pasadas de vibrocultivador para afinar la cama de semillas.

3.2.4.2 Encalado. Antes del establecimiento del ensayo, se midió el pH del suelo, siendo el promedio para los tres bloques, de 5,0. Este valor de pH no es el óptimo para el cultivo del tulipán, el cual se desarrolla adecuadamente en pH 6 a 7,5 (REES, 1972).

Debido a que en este ensayo, no se incluye los efectos del pH en la absorción de potasio, este factor no debe ser limitante. Por lo cual, se realizó un encalado del suelo para alcanzar un pH 6, aplicándose 8 t CaCO₃/ha al voleo y luego incorporada por un rastraje posterior. La dosis de CaCO₃ aplicada en este ensayo se calculó con la siguiente ecuación, según PINOCHET (1999 b):

¹ Nombre comercial: Basamid.

$$DE = (pH_A - pH_S) \times CT \quad (3.7)$$

donde,

DE = Dosis de encalado (t CaCO₃/ha).

pH_A = pH a alcanzar con el encalado.

pH_S = pH del suelo.

CT = Capacidad tampón del suelo (8 t CaCO₃ / 1 pH para los suelos trumaos).

Posteriormente al encalado se verificó el pH del suelo, encontrándose un valor 5,8.

3.2.4.3 Manejo de los bulbos preplantación. El día de la plantación, los bulbos se desinfectaron en una solución fungicida, compuesta por los siguientes ingredientes activos: Clorotalonil, Benomil e Iprodione². Los bulbos se deben sumergir en esta solución por un tiempo menor a 10 minutos y mayor a 8 minutos.

3.2.4.4 Plantación. La plantación de los bulbos de tulipán se realizaron en un sistema de platabandas de 7 m de largo y 0,7 m de ancho, con pasillos entre platabandas de 0,3 m de ancho. Dentro de las platabandas los bulbos se ubicaron en grupos de doce, correspondientes a grupos de muestreo, con una distancia entre hileras de 10 cm y sobrehilera de 10 cm. Además, entre cada grupo de muestreo se dejaron pasillos de 15 cm de ancho, para facilitar la cosecha de los bulbos (Figura 4).

² Nombre comercial: Bravo 720 al 2%, Benlate al 0,4% y Rovral al 0,2%.

Una vez ubicados los bulbos, se removió el suelo de los pasillos entre platabandas y se colocó sobre los bulbos, dejándolos cubiertos con una capa de suelo de 10 cm de altura, medido desde la base de los bulbos.

El cultivo se estableció en un área de 144 m², dividida en tres bloques. Se plantaron 168 bulbos de tulipán por tratamiento, totalizando 840 bulbos por parcela experimental y 2.520 bulbos para el ensayo completo.

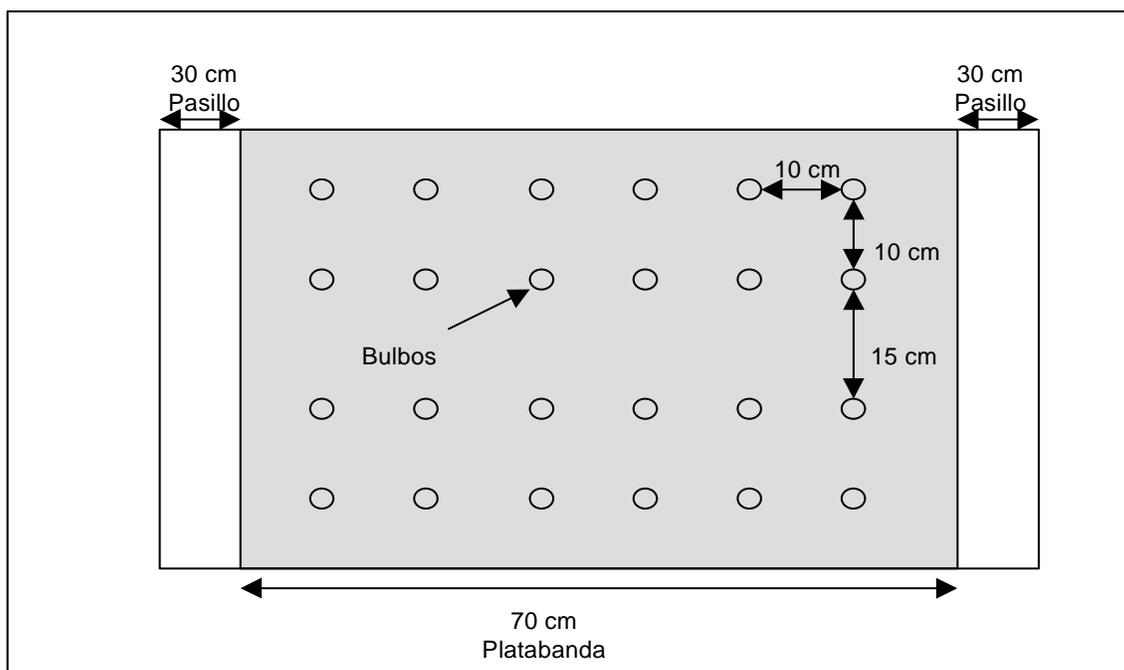


FIGURA 4 Detalle de una platabanda de la plantación.

3.2.4.5 Riego. En el caso de plantaciones al aire libre, las precipitaciones cubren una importante fracción de los requerimientos hídricos totales del cultivo, especialmente en la zona sur del país, por lo que el riego se realizó acorde a las condiciones climáticas del lugar del ensayo. El mismo día de la plantación los bulbos fueron regados, debiendo regarse diariamente si las condiciones climáticas así lo determinaron. Según DE HERTOIGH y LE NARD (1993), desde septiembre hasta comienzos de verano (cosecha comercial de bulbos), la disponibilidad de agua en la zona de las raíces es crítica, ya que corresponde al

periodo de crecimiento de los bulbos hijos, repercutiendo directamente en el rendimiento final de bulbos. Por lo tanto, en ese período se realizaron revisiones visuales frecuentes de la humedad del suelo y se utilizó como criterio de riego cuando los primeros 20 cm de suelo se encontraban secos.

3.2.4.6 Control de malezas. El control de malezas se realizó a través de tres acciones. Una preparación de suelo adecuada y oportuna, una desinfección de suelo y limpiezas manuales desde la plantación a la cosecha comercial de bulbos.

En este ensayo, no se realizaron controles químicos de malezas, debido a la alta sensibilidad del cultivo a los herbicidas, lo que se traduce en problemas de fitotoxicidad. (SCHIAPPACASSE, 1996).

3.2.4.7 Control de plagas y enfermedades. El plan fitosanitario, fue basado en inspecciones periódicas del cultivo para detectar oportunamente plagas y enfermedades, de manera de iniciar los tratamientos químicos necesarios, para asegurar un desarrollo normal de las plantas. Además, se recomiendan fumigaciones semanales con productos fungicidas e insecticidas, desde la emergencia de las plantas de tulipán, acciones cuya conveniencia se evaluó en el campo. En este ensayo no fueron necesarias aplicaciones de pesticidas de ningún tipo.

3.2.5 Muestreo de bulbos y plantas. Para poder determinar las tasas de crecimiento del cultivo y las tasas de absorción de potasio, se realizaron muestreos a intervalos de 15 días, hasta la cosecha comercial de bulbos, totalizando 8 cosechas. Cada muestreo considera ocho bulbos con raíz y la parte aérea de la planta de tulipán, por cada tratamiento y por repetición.

El primer muestreo se realizó luego de la emergencia de las plantas de tulipán cuando el 50% de éstas alcanzó 2 cm de altura, y el último muestreo

correspondió a la cosecha comercial de bulbos. Además, se realizó un muestreo y análisis químico de los bulbos que se utilizaron en la plantación, para determinar la concentración inicial de potasio en ellos. El calendario de muestreo se presenta en la Cuadro 10, donde se indica el número de muestreos en secuencia cronológica.

CUADRO 10 Calendario de muestreo.

Muestreo (Nº)	Fecha	Días después de la plantación (04/06/99)
1	9/9/99	97
2	24/9/99	112
3	8/10/99	126
4	22/10/99	140
5	4/11/99	153
6	19/11/99	168
7	3/12/99	182
8	17/12/99	196

También cabe destacar que el día 15 de octubre de 1999, fecha en la cual más de un 50% de las plantas apareció su flor, se cortó ésta dejando la planta y el tallo floral con el objeto que el bulbo sufra un proceso de engrosamiento para alcanzar el tamaño comercial.

En cada muestreo se cosecharon 12 bulbos con su parte aérea, por cada uno de los cinco tratamientos y por repetición, de los cuales se eliminaron 4, que corresponden a los bulbos ubicados en los bordes de los tratamientos. Por lo tanto, en cada muestreo se cosecharon 8 bulbos con su parte aérea por tratamiento, totalizando 40 bulbos por bloque experimental y 120 bulbos para el ensayo completo.

3.2.6 Tratamiento del material vegetal muestreado. El día del muestreo, tanto los bulbos como la parte aérea de la planta del tulipán, se lavaron con agua potable y luego con agua destilada. El material vegetal lavado, fue secado en una estufa a 60°C por 48 horas o hasta lograr un peso constante, y luego se picó y se guardó en bolsas de plástico rotuladas con el número de muestreo, fecha de muestreo, número de tratamiento, número de repetición y parte vegetal muestreada (bulbo, raíz y parte aérea), para su posterior análisis.

3.2.6.1 Determinación de la materia seca total. La materia seca total del bulbo o de la parte aérea de la planta de tulipán fue realizada pesando este material antes de llevarlo a la estufa (peso húmedo) y durante el secado, de manera de registrar el peso constante del material vegetal, y que correspondería al peso seco del mismo.

El porcentaje de materia seca se calculó de la siguiente fórmula:

$$\% MS = \left[1 - \frac{(Phúmedo - Pseco)}{Phúmedo} \right] \times 100 \quad (3.8)$$

donde,

%MS = Porcentaje de materia seca.

Phúmedo = Peso húmedo (g).

Pseco = Peso seco (g).

3.2.6.2 Determinación de la concentración de potasio. La concentración de potasio de la parte aérea y del bulbo del tulipán, se determinó a través del método de calcinación.

El método de la calcinación consta del siguiente procedimiento: primero se descontamina los crisoles, lavándolos con mezcla ácida (mezclar 100 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado p.a., 100 mL de ácido nítrico (HNO₃))

concentrado p.a. y 800 mL de agua destilada). Para lo cual se ponen 20 mL de la mezcla en cada crisol y se calienta en el plato calentador hasta que hiervan, luego se dejan enfriar y se lavan con agua destilada y enseguida se seca en el plato calentador.

Luego de esto se pesan 2 g de la muestra de las distintas estructuras en un crisol y se lleva a la mufla tomándolo con pinza metálica cubierta con papel de aluminio. Hay que incluir un crisol vacío para el blanco. Una vez en la mufla hay que calentar por una hora a una temperatura entre 200°C a 250°C, luego se sube la temperatura lentamente hasta 550°C durante dos horas. Se apaga y se espera hasta que la temperatura esté a 100°C para sacar el crisol y se enfría en el desecador.

Una vez realizado esto, se pone 1 mL de agua destilada para humedecer las cenizas y 10 mL de mezcla ácida por las paredes del crisol, se tapa y se lleva al plato calentador por unos minutos a una temperatura de 60°C a 70°C. Se deja enfriar y se vacía con un embudo a un matraz de 50 mL. Luego se coloca 10 mL de mezcla ácida al crisol y se vacía al matraz, lavando finalmente el crisol con agua destilada. Se afora, agita y filtra, guardando el extracto en frasco plástico (extracto mineralizado).

Es en este extracto mineralizado donde se mide la concentración de potasio mediante el espectro fotómetro.

3.3 Diseño experimental y análisis estadístico.

El estudio fue diseñado en bloques completamente al azar. Los tratamientos corresponden a dosis de fertilización potásica en cinco niveles. Cada tratamiento fue evaluado a través del tiempo desde plantación hasta cosecha comercial a intervalos de 15 días.

Las medias de los tratamientos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), seguido de una aplicación de un test de normalidad y de homogeneidad de varianza de los datos, para comprobar si éstos eran paramétricos. Cuando existieron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre medias, estas fueron separadas usando diferencias honestamente significativas a través del test de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa computacional Statgraphics v 2.0.

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Parámetros directos.

Los parámetros directos, son aquellos medidos directamente en el material producido del cultivo para evaluar el efecto de la dosis de potasio.

4.1.1 Concentración de potasio. La concentración de potasio en el bulbo de tulipán, en forma general, tiende a aumentar levemente a través del tiempo después de una rápida caída desde la concentración inicial del bulbo y volviendo al final en la cosecha comercial a una concentración similar a la inicial. El patrón de comportamiento general en los distintos tratamientos, muestra que las diferencias en concentración de potasio entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 11, Anexo 8).

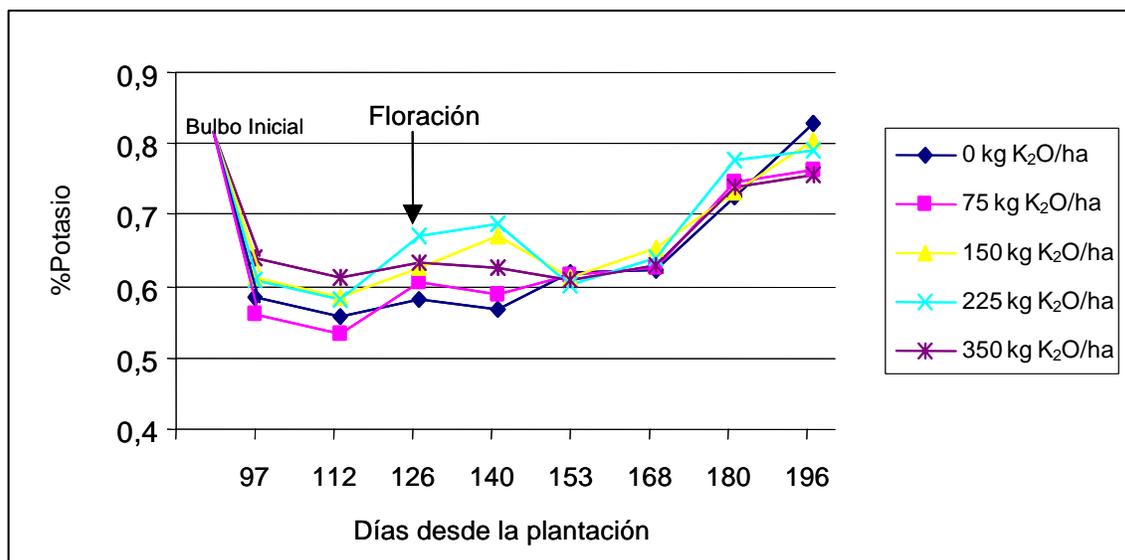


FIGURA 5 Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) en el bulbo del tulipán.

CUADRO 11 Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) de los órganos de la planta de tulipán.

Parte vegetal	Dosis (kg K ₂ O/ha)	Días desde la plantación							
		97	112	126	140	153	168	182	196
Bulbo	0	0,59±0,07 a	0,56±0,01 a	0,58±0,06 a	0,57±0,03 a	0,62±0,08 a	0,62±0,04 a	0,72±0,07 a	0,83±0,08 a
	75	0,56±0,11 a	0,54±0,08 a	0,61±0,02 a	0,59±0,05 a	0,62±0,04 a	0,63±0,08 a	0,75±0,05 a	0,76±0,14 a
	150	0,61±0,08 a	0,59±0,11 a	0,63±0,02 a	0,67±0,09 a	0,61±0,06 a	0,65±0,07 a	0,73±0,07 a	0,81±0,10 a
	225	0,64±0,10 a	0,58±0,10 a	0,67±0,07 a	0,70±0,06 a	0,60±0,06 a	0,64±0,05 a	0,78±0,04 a	0,79±0,06 a
	350	0,64±0,12 a	0,61±0,06 a	0,63±0,08 a	0,63±0,03 a	0,61±0,06 a	0,63±0,08 a	0,74±0,05 a	0,76±0,03 a
Parte Aérea	0	1,46±0,34 a	1,70±0,10 a	3,25±0,18 a	1,63±0,10 a	1,51±0,07 a	1,42±0,10 a	1,53±0,13 a	0,59±0,10 a
	75	1,48±0,04 a	1,80±0,17 a	2,96±0,42 a	1,49±0,12 a	1,46±0,07 a	1,45±0,20 a	1,93±0,31 a	1,35±0,67 a
	150	1,70±0,16 a	1,79±0,25 a	3,18±0,34 a	1,64±0,06 a	1,70±0,17 a	1,63±0,16 a	1,75±0,12 a	0,90±0,38 a
	225	1,75±0,11 a	1,76±0,18 a	3,18±0,21 a	1,44±0,15 a	1,54±0,06 a	1,50±0,15 a	1,84±0,13 a	1,05±0,33 a
	350	1,70±0,15 a	1,74±0,24 a	3,27±0,37 a	1,85±0,30 a	1,59±0,08 a	1,69±0,10 a	2,01±0,25 a	0,78±0,17 a
Raíces	0	2,10±0,36 a	2,07±0,32 a	1,15±0,10 a	0,70±0,27 a	1,06±0,21 a	0,55±0,14 a	0,87±0,21 a	0,21±0,13 a
	75	2,15±0,67 a	2,19±0,48 a	1,42±0,08 a	0,64±0,16 a	0,81±0,32 a	0,43±0,32 a	0,76±0,07 a	0,16±0,05 a
	150	2,09±0,25 a	2,35±0,52 a	1,05±0,84 a	0,73±0,42 a	1,17±0,27 a	0,45±0,21 a	0,81±0,15 a	0,18±0,04 a
	225	2,25±0,28 a	2,51±0,28 a	1,00±0,77 a	0,76±0,05 a	0,88±0,11 a	0,75±0,14 a	0,83±0,09 a	0,20±0,07 a
	350	2,38±0,71 a	2,61±0,36 a	1,15±0,93 a	0,84±0,52 a	0,86±0,04 a	0,62±0,23 a	0,90±0,11 a	0,16±0,05 a
Flores	0			1,17±0,32 a	1,67±0,07 a				
	75			1,77±0,40 a	1,94±0,28 a				
	150			1,84±0,29 a	1,88±0,27 a				
	225			2,03±0,07 a	1,98±0,04 a				
	350			2,15±0,05 a	1,95±0,04 a				

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

Se observa en la Figura 5, que entre la primera colecta y la floración, los bulbos de los tratamientos fertilizados con potasio presentaron una concentración de potasio similar a la de los bulbos del tratamiento sin fertilización, mostrando que con la dosis de 150 kg K₂O/ha (tratamiento 3) alcanzó la mayor concentración de potasio 0,67% y en el tratamiento sin fertilización una concentración de 0,57%.

Después de la floración los bulbos de plantas fertilizadas redujeron aún más sus diferencias entre sí. Los bulbos correspondientes al último muestreo, presentaron una concentración de potasio de 0,83% para el tratamiento testigo, seguido de los tratamientos 3 y 4 con 0,81% y 0,79%, respectivamente. Este aumento en la concentración de potasio en los bulbos después de la floración, se debería a que los bulbos pasan a ser la fuente de almacenamiento de las sustancias nutritivas, lo cual ocurre en las escamas del bulbo, y el rol del potasio correspondería a la activación enzimática en este metabolismo (TISDALE *et al.*, 1993).

La concentración de potasio en la parte aérea (tallos y hojas), en general en todos los tratamientos tiene una tendencia en el tiempo a disminuir (Figura 6) a partir de la floración. Hasta el período de floración se observa que el porcentaje de potasio aumentó hasta un valor promedio de 3,15% en las plantas que recibieron fertilización potásica, y un valor de 3,25% en el tratamiento testigo, siendo este último no estadísticamente diferente ($p > 0,05$) (Cuadro 11, Anexo 8).

La disminución de la concentración de potasio a partir de la floración es posiblemente debida a la traslocación de potasio hacia el bulbo (principal polo de atracción de la planta después de la desbotonadura) obteniéndose que en la madurez fisiológica (7^o colecta) el promedio en las plantas fertilizadas presentó una concentración de potasio de 1,88% y de 1,53% en el tratamiento testigo,

alcanzando un máximo el tratamiento 5 con 2,01%. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente diferentes ($p > 0,05$). La parte aérea correspondientes al último muestreo (cosecha comercial), presentaron una concentración de potasio de 0,59% para el tratamiento testigo, y de 1,40% a 0,80% para aquellas plantas que fueron fertilizadas, no resultando estas diferencias significativas estadísticamente ($p > 0,05$).

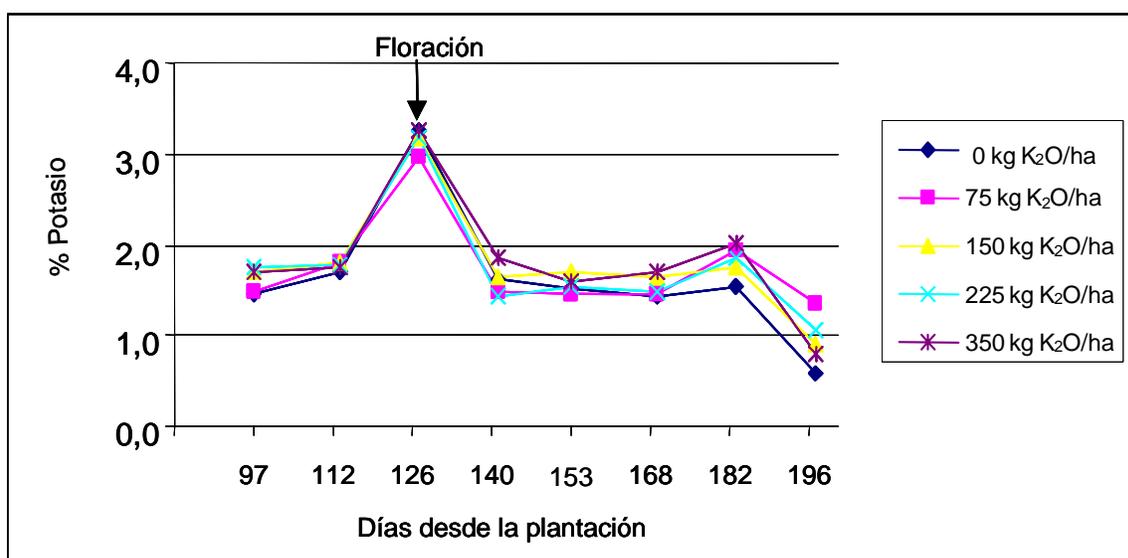


FIGURA 6 Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) en la parte aérea del tulipán.

Con respecto a las raíces (Figura 7), es importante considerar que todos los datos aquí presentados no pueden ser considerados concluyentes, ya que por las condiciones de manejo del ensayo, fue imposible coleccionar la totalidad de las raíces de las plantas.

Sin embargo, se pudo observar que la concentración de potasio en las raíces en los primeros muestreos aumentó levemente en un porcentaje de 2,41% para las plantas fertilizadas, y de 2,07% para el tratamiento testigo. Luego esta concentración tiende a disminuir llegando a valores de 0,20% a

0,16% para los tratamientos fertilizados y de 0,21% para el tratamiento testigo en la colecta ocho.

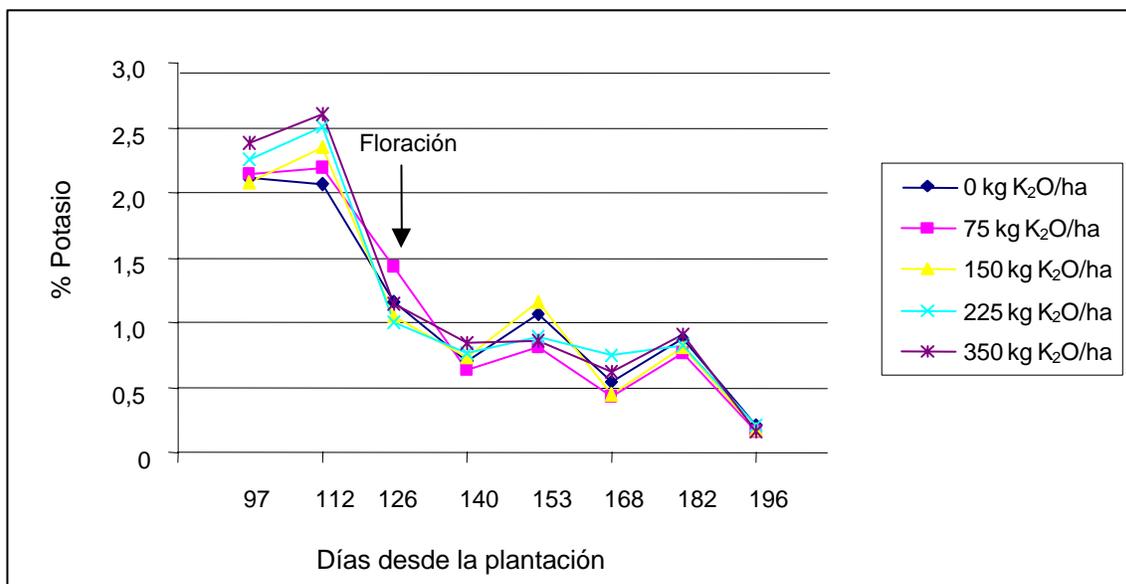


FIGURA 7 Efecto de la fertilización potásica sobre la concentración de potasio (%K) en las raíces del tulipán.

Esta disminución en la concentración de potasio puede deberse a que hacia el final de la estación de crecimiento tanto la parte aérea como las raíces sufren cambios, los cuales provocan la traslocación del nutriente hacia el bulbo, dejando bajas concentraciones en los tejidos senescentes. Un efecto similar ha sido observado en trigo, en donde la parte aérea disminuye sus concentraciones y contenido en los estados finales de madurez, existiendo un movimiento de potasio al suelo o un almacenamiento en la raíz (WILD, 1992).

4.1.2 Variación en la concentración de la materia seca. En general, el porcentaje de materia seca (**%MS**) de los bulbos (Figura 8), no se vió afectado por la variación en el suministro de potasio, excepto en el último muestreo, aunque estas diferencias no resultaron estadísticamente significativas (Cuadro 12, Anexo 9).

La Figura 8, muestra la acumulación promedio del porcentaje de materia seca (%MS) en el bulbo del tulipán durante la temporada en estudio. En general se observa que el bulbo desde la plantación hasta la cosecha no sufre grandes cambios en el porcentaje de materia seca fluctuando entre 40% antes de ser plantado, bajando a 30% desde la primera a la tercera colecta, para volver a incrementar hacia el 40% en los estados finales de madurez. La variación inicial en las primeras colectas se debería a que el bulbo absorbe agua al comenzar su actividad metabólica para volver a perder humedad en la medida que se transforma en el principal reservorio de acumulación de carbohidratos de la planta. Hasta la séptima colecta (madurez fisiológica) no se observaban diferencias entre los tratamientos, las cuales aumentaron en la octava cosecha (madurez comercial) aunque éstas se mantuvieron no diferentes estadísticamente (Cuadro 12, Anexo 9), fluctuando entre valores de 43% y 55%.

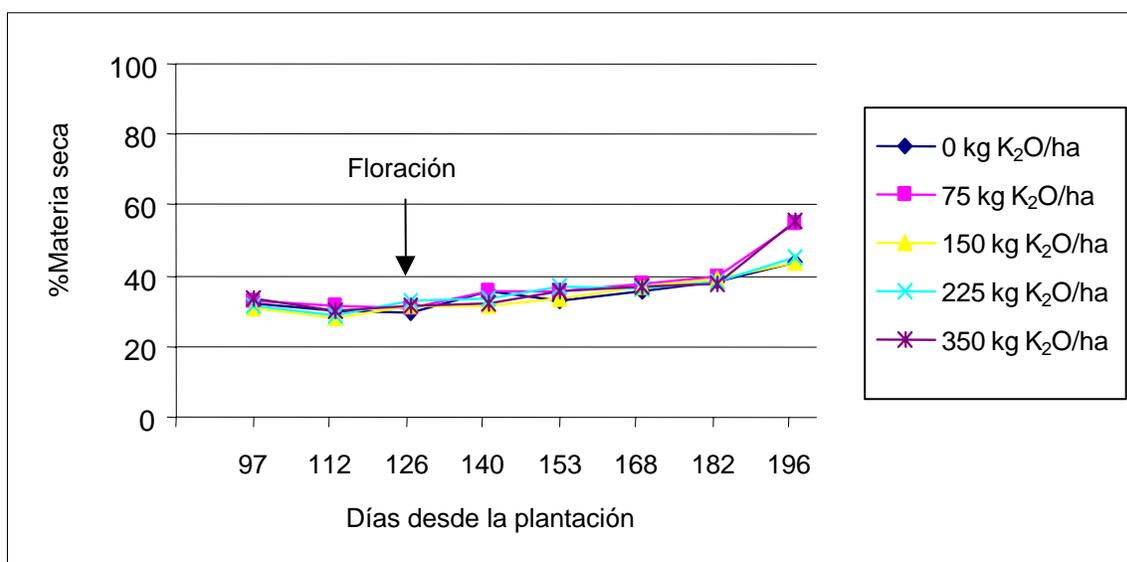


FIGURA 8 Curva de la concentración de materia seca (%MS) en el bulbo en el cultivo del tulipán.

Esta variación final puede ser debida a que entre el período de madurez fisiológica y madurez comercial se produzcan cambios en el bulbo que no sean de responsabilidad de los tratamientos de fertilización potásica utilizados. Los tratamientos que en la madurez comercial tuvieron mayor producción de materia seca fue el tratamiento 5 (350 kg K_2O /ha) y el tratamiento 2 (75 kg K_2O /ha) y los otros tratamientos tuvieron concentraciones inferiores.

El porcentaje de materia seca de la parte aérea (tallos y hojas) (Figura 9), muestra una disminución desde la primera colecta hasta la madurez fisiológica, aumentando bruscamente entre la madurez fisiológica y la madurez comercial del tulipán.

La disminución inicial podría deberse a que en los primeros estados las hojas presentan una mayor rigidez, debido a que parten rompiendo el bulbo madre en el período de emergencia, lo cual se manifiesta en un mayor contenido de materia seca de los tejidos (promedio de 31,8%) en la primera colecta. Además, esta mayor rigidez inicial estaría relacionada con la resistencia que tiene la planta de tulipán a las heladas, la cual una vez emergida resiste temperaturas inferiores a cero grado, pero solo por un tiempo determinado y esto podría asociarse al menor contenido de agua dentro de los tejidos en los primeros estados de desarrollo (SCHIAPPACASSE, 1996).

A partir de la segunda colecta hasta la madurez fisiológica la concentración de materia seca en los distintos tratamientos se mantuvo en un promedio de 17,8%. Este aumento de agua en los tejidos de hojas y tallos, después de la primera colecta, se debería a que en las etapas de mayor crecimiento después de la emergencia la planta requiere una mayor turgencia para desarrollar en forma adecuada los procesos metabólicos inherentes al crecimiento (SALISBURY y ROSS, 1985).

CUADRO 12 Efecto de la fertilización potásica sobre el porcentaje de materia seca (%MS) de los órganos de la planta de tulipán.

Parte vegetal	Dosis (kg K ₂ O/ha)	Días desde la plantación							
		97	112	126	140	153	168	182	196
Bulbo	0	32,33±1,98 a	29,96±2,84 a	29,74±2,47 a	35,43±3,84 a	32,92±2,85 a	35,94±1,47 a	38,44±1,88 a	44,04± 1,25 a
	75	32,62±0,99 a	31,62±5,87 a	30,78±2,13 a	35,62±4,52 a	35,42±2,17 a	37,38±1,63 a	40,02±2,37 a	54,57±19,62 a
	150	30,57±2,18 a	27,81±1,27 a	31,32±1,95 a	31,41±2,59 a	33,83±2,16 a	36,85±1,29 a	38,72±0,81 a	43,69± 1,12 a
	225	31,33±0,61 a	28,45±2,12 a	32,85±2,23 a	33,31±1,19 a	37,02±0,78 a	36,21±0,86 a	38,31±2,06 a	45,43± 1,73 a
	350	33,63±1,32 a	30,42±1,65 a	31,71±3,29 a	31,87±0,83 a	35,77±3,72 a	37,32±2,81 a	37,79±2,29 a	55,38±17,82 a
Parte aérea	0	33,12±1,32 a	19,25±1,94 a	16,01±1,77 a	16,19±3,45 a	15,73±2,39 a	16,52±0,96 a	16,68±1,82 a	33,42± 4,97 a
	75	32,82±3,38 a	20,36±4,52 a	15,68±3,22 a	17,93±3,02 a	17,80±1,45 a	18,24±0,91 a	16,39±2,42 a	45,27± 4,82 a
	150	31,66±1,87 a	18,46±2,02 a	15,56±1,58 a	16,06±1,69 a	16,42±1,88 a	17,77±1,17 a	17,33±1,11 a	45,16± 5,53 a
	225	30,15±2,14 a	17,18±1,64 a	17,03±0,72 a	15,23±0,26 a	16,76±0,54 a	16,56±0,35 a	17,44±1,63 a	37,05± 16,8 a
	350	31,16±1,46 a	18,84±1,12 a	16,72±1,12 a	16,04±0,81 a	15,28±2,19 a	17,25±1,42 a	15,73±1,32 a	48,34± 4,22 a
Raíces	0	33,07±1,83 a	30,98±3,99 a	42,33±6,66 a	47,32±10,63a	43,02±9,87 a	41,94±2,76 a	49,94±8,31 a	54,88± 16,7 a
	75	34,73±6,85 a	33,87±12,9 a	29,38±2,14 a	51,37±4,73 a	46,22±6,72 a	53,16±12,82a	45,64±14,52a	59,59± 18,33a
	150	37,56±5,18 a	25,04±4,39 a	34,77±3,86 a	47,09±2,11 a	45,55±6,08 a	48,33±13,53a	50,54±7,35 a	61,02± 7,62 a
	225	33,01±3,79 a	28,15±7,38 a	36,80±2,52 a	51,86±1,77 a	48,63±4,94 a	37,45±5,66 a	51,14±7,37 a	44,51± 6,82 a
	350	34,28±3,17 a	33,78±3,82 a	39,87±9,34 a	47,91±7,52 a	40,23±1,14 a	40,28±7,36 a	44,92±3,25 a	54,43±10,92 a
Flores	0			153,23±0,72a	372,72±0,71a				
	75			127,32±2,32a	365,72±2,31a				
	150			132,73±2,43a	420,23±2,44a				
	225			170,23±0,85a	355,34±0,85a				
	350			177,22±0,85a	349,33±0,85a				

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

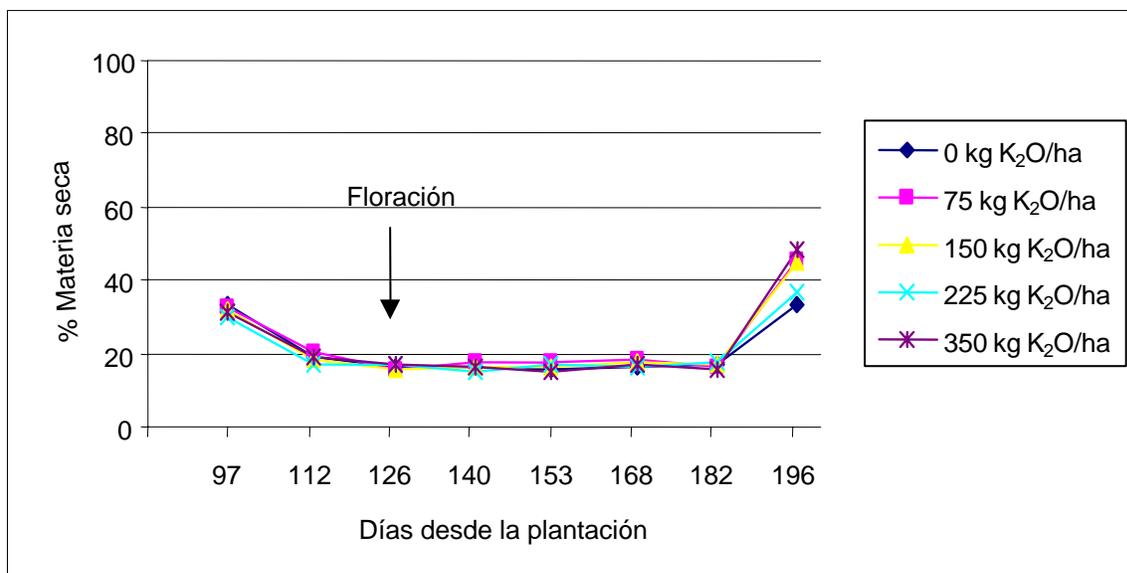


FIGURA 9 Curva de la concentración de materia seca (%MS) en la parte aérea en el cultivo del tulipán.

Desde la madurez fisiológica hasta la senescencia del cultivo en la madurez comercial, se observa un cambio brusco en la concentración de materia seca del follaje, debido a la pérdida de turgencia natural después del funcionamiento fisiológico de la planta (SALISBURY y ROSS, 1985). Así el tratamiento 5 (350 kg K₂O/ha) produce el mayor porcentaje de materia seca, cercano al 48%, seguido de los tratamientos 2 (75 kg K₂O/ha) y 3 (150 kg K₂O/ha), respectivamente. Por su parte, el tratamiento sin fertilización potásica (testigo) tuvo una respuesta en concentración de materia seca inferior al resto de los tratamientos (33,4% en promedio).

Las raíces colectadas durante los muestreos presentaron también un patrón de comportamiento similar a través de los tratamientos de fertilización potásica (Figura 10).

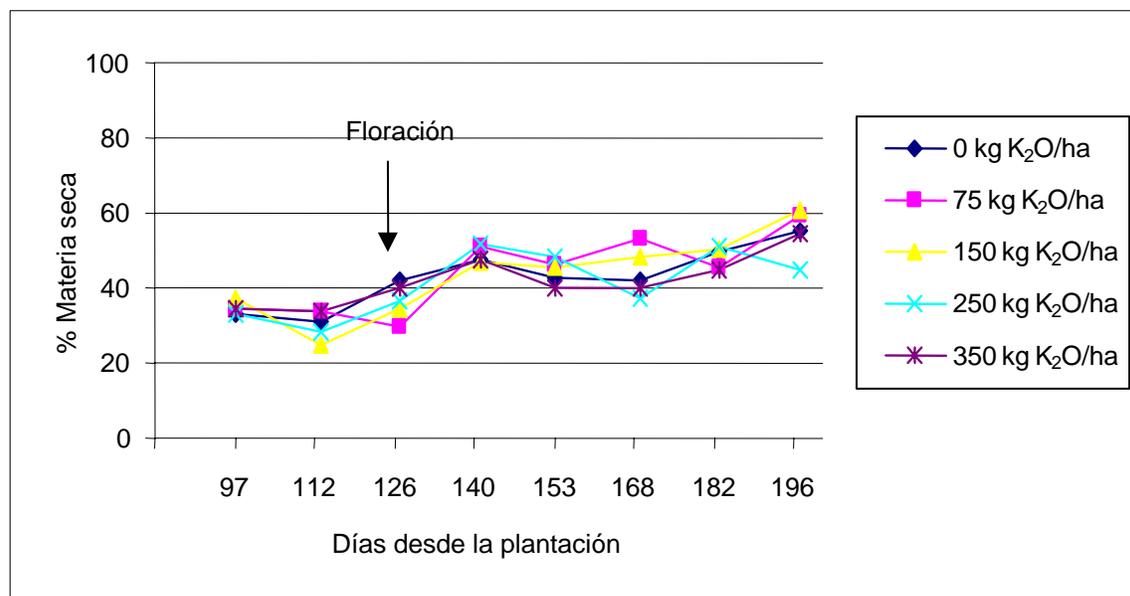


FIGURA 10 Curva de concentración de materia seca (%MS) de las raíces del cultivo del tulipán.

La curva general muestra una tendencia a la acumulación del porcentaje de materia seca en las raíces del tulipán. A partir de un valor aproximado de 35%, se llega a la cosecha en la madurez comercial con un valor promedio de 55%. Esto indicaría que mientras aumenta la ontogenia del cultivo, los tejidos de las raíces van perdiendo agua y aumentando su concentración de materia seca, sugiriendo que las raíces aumentan en forma creciente su envejecimiento a través de los estados fenológicos de tulipán (SALISBURY y ROSS, 1985).

4.1.3 Producción de materia seca del cultivo del tulipán. En la Figura 11 se muestra la producción de materia seca (**g MS/m²**) acumulada del bulbo del tulipán. La producción de MS de los bulbos muestra una acumulación que comienza a partir de la tercera cosecha (desbotonadura), alcanzando su máximo en los estados de madurez fisiológica y comercial del cultivo. Se observa que entre la primera y tercera colecta (desbotonadura) existió una disminución en la acumulación de materia seca de los bulbos, la cual no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Este efecto puede deberse a que en

los primeros estados de crecimiento del cultivo, el reservorio principal y objeto de la acumulación de los fotosintatos y de los carbohidratos de reserva son las hojas y los tallos y posteriormente el tallo floral, por ello durante estas etapas los bulbos son fuente de entrega de sus carbohidratos de reserva, lo que causaría su disminución del contenido de materia seca (SHIAPACCASSE, 1996). Esta fase ocurre mientras las raíces y la parte aérea no alcanza el suficiente desarrollo como para ser capaces de comenzar una fase de acumulación neta positiva de la materia seca fotosintetizada en el bulbo. El hecho que la baja en la materia seca de los bulbos se mantenga hasta el final de la floración del cultivo (cuarta colecta), permite suponer que las fases iniciales del crecimiento del tulipán no existe una ganancia neta de carbohidratos hacia el bulbo y solo una exportación neta hacia otros tejidos de la planta (SALISBURY y ROSS, 1985).

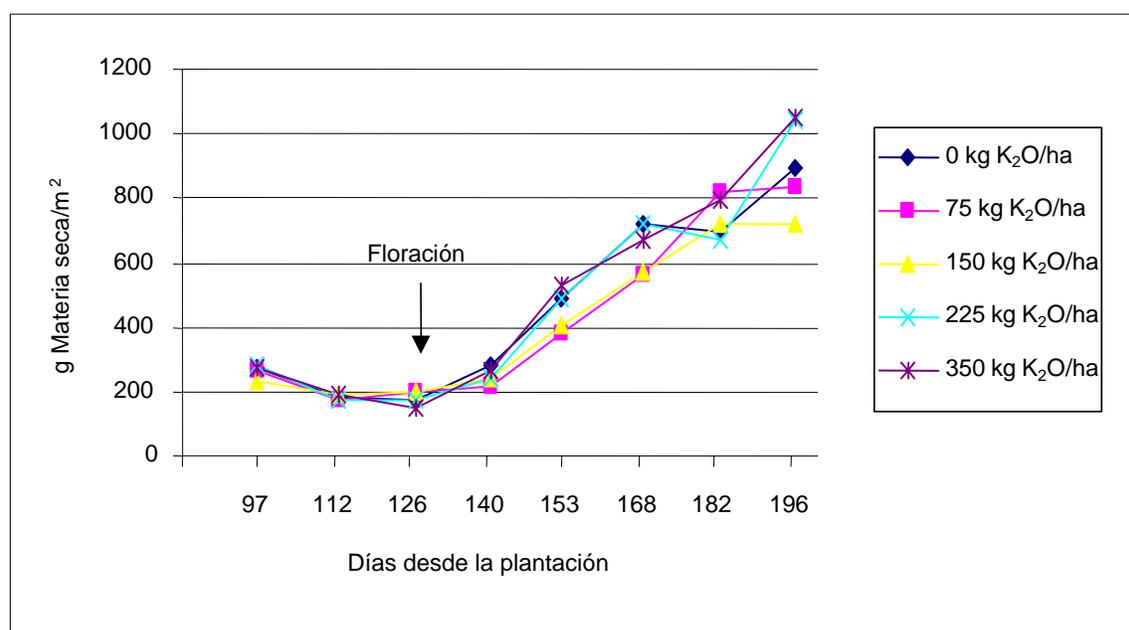


FIGURA 11 Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m²) acumulada en el bulbo del tulipán.

Posteriormente, cuando las flores fueron cortadas, se cambia el polo de atracción de los carbohidratos hacia el bulbo, y las reservas de éste órgano comienzan a aumentar significativamente; esta reacción se llevaría a cabo con el

objeto de perpetuar su especie. Independiente de los tratamientos, la producción de materia seca de los bulbos, fue creciente, principalmente luego del estado de floración. Al observar la gráfica se obtuvo una curva similar a una sigmoídea (Figura 11), la cual es representativa del crecimiento de órganos individuales de muchas plantas anuales y perennes, según lo señalado por (SALISBURY y ROSS, 1985).

El tratamiento que arrojó las máximas acumulaciones de producción de materia seca en el cultivo, fueron los tratamientos con mayores dosis de potasio, alcanzando valores por sobre 1 kg MS/m². Sin embargo, el tratamiento de menor producción de materia seca fue el tratamiento 3 con aproximadamente 0,7 kg MS/m², teniendo el tratamiento sin fertilización potásica una producción de materia seca de aproximadamente 0,9 kg MS/m². Todas estas diferencias no resultaron ser estadísticamente diferentes ($p > 0,05$) (Cuadro 15, Anexo 7), por lo cual se infiere que en este ensayo no existió respuesta la fertilización potásica en la producción de bulbos del cultivo del tulipán.

La Figura 12 muestra las curvas de acumulación de materia seca en las hojas y tallos del tulipán. El comportamiento general muestra que durante el ciclo de vida del tulipán, las hojas y tallos aumentan en la acumulación de materia seca hasta las colectas 6 (posteriores a la desfloración), disminuyendo suavemente hasta la madurez de cosecha.

En el máximo de acumulación de materia seca de las hojas y tallos fue donde además se observó la mayor separación en producción de materia seca entre los tratamientos, pero éstas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$) (Cuadro 15, Anexo 7).

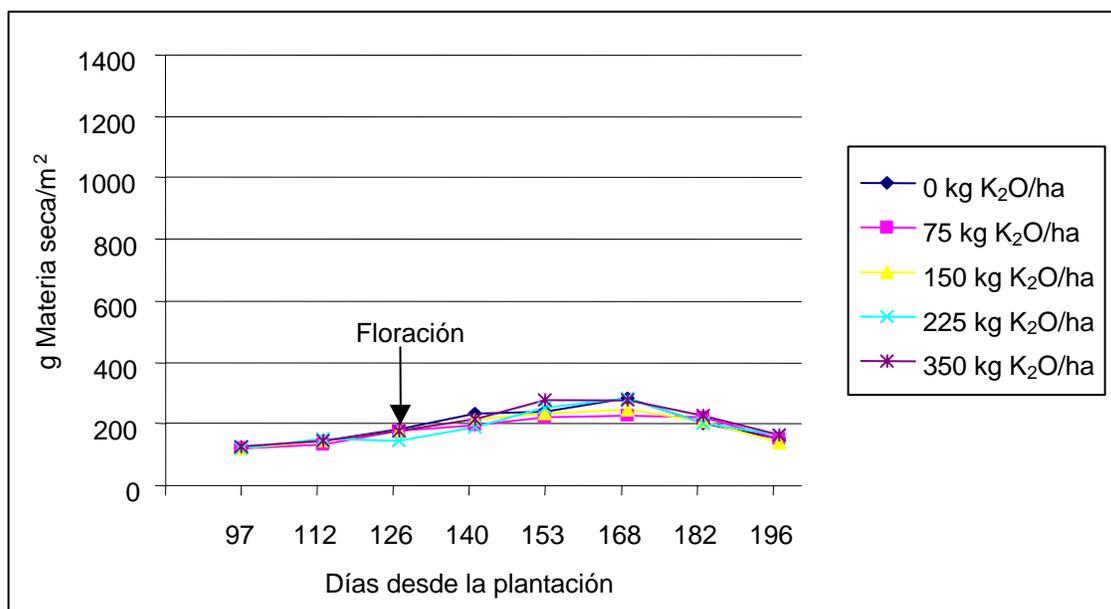


FIGURA 12 Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m²) acumulada en la parte aérea del tulipán.

El tratamiento cuatro, de mayor producción de materia seca (285 g MS/m²), fue solo ligeramente mayor que el tratamiento tres (246 g MS/m²). A partir del máximo comienza a dominar la traslocación de carbohidratos desde las hojas con relación a la formación de nuevas hojas y éstas comienzan a secarse y morir. Por ello, se observa una traslocación neta de los nutrientes hacia el bulbo, el cual, como se mostró en la Figura 11, está en su fase máxima de acumulación de carbohidratos, mostrando la importancia de la parte vegetativa en la engorda de los bulbos.

La producción de materia seca de las raíces (Figura 13), muestra que va disminuyendo hacia el final del cultivo independiente de los tratamientos de fertilización potásica. Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten ser concluyentes con respecto a la producción de materia seca de raíces ya que la metodología utilizada para la colecta de éstas no permite su total recuperación desde las condiciones de terreno.

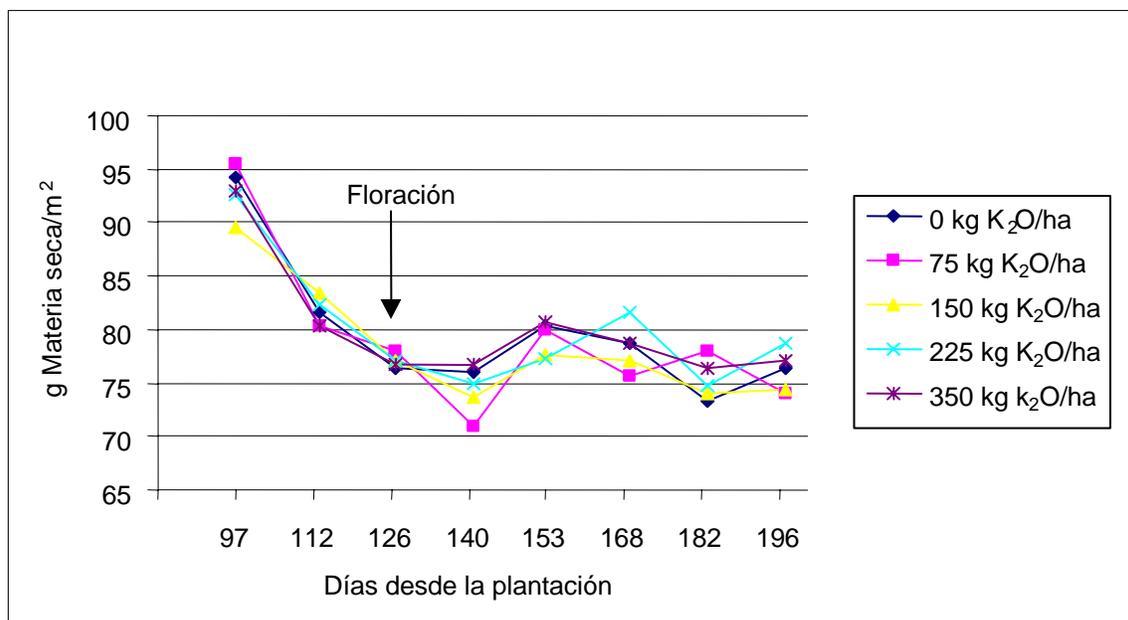


FIGURA 13 Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m²) acumulada en la raíz del tulipán.

Se observa en la Figura 13, que la máxima disminución de materia seca producida en las raíces ocurrió hasta la floración y que posteriormente esta se mantiene relativamente constante. De las raíces colectadas, éstas correspondieron aproximadamente a un 6% a 7% de la producción de materia seca de bulbos y parte aérea.

El patrón de la acumulación total de materia seca en el cultivo del tulipán considerando la parte aérea y el bulbo (Figura 14), muestra la dominancia de la producción del bulbo a partir de la tercera colecta (desbotonadura) y la dominancia de la parte aérea (tallos y hojas) desde la emergencia hasta la tercera colecta. La curva general es del tipo sigmoídea alcanzando la máxima acumulación en los estados finales del cultivo, sin mostrar diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos de fertilización potásica.

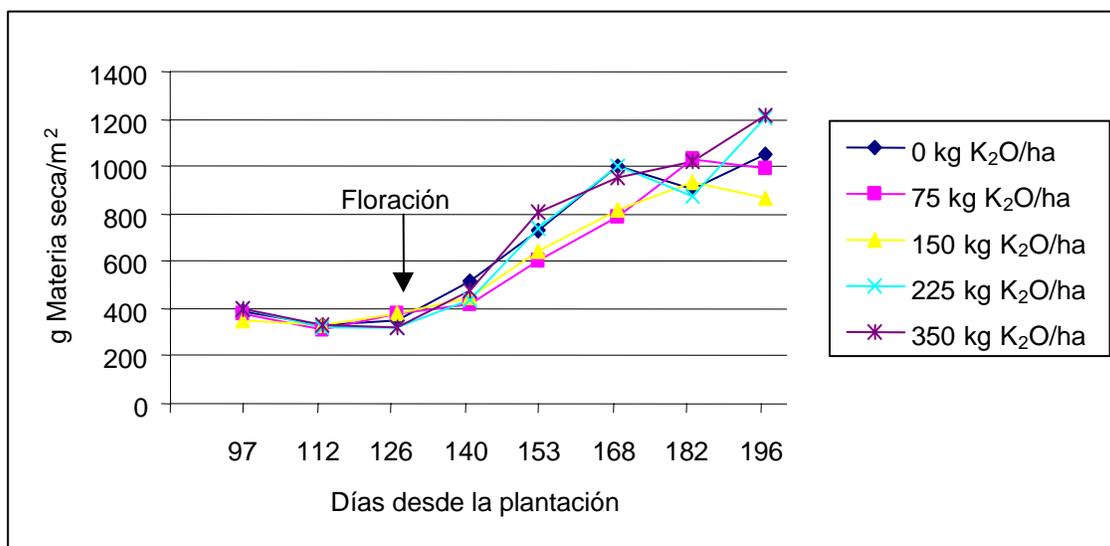


FIGURA 14 Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca total (g MS/m²) (sin incluir flores) de un cultivo de tulipán.

En el momento de la madurez de cosecha, la mayor producción de materia seca se presentó en los tratamientos de mayor dosis de potasio con valores por sobre 1,2 kg MS/m². Es importante destacar que el tratamiento con menor producción final fue el tratamiento 3 (150 kg K₂O/ha) con valores de 0,86 kg MS/m² y el testigo tuvo producciones intermedias entre los máximos y mínimos ligeramente por sobre 1 kg MS/m². Ello permite concluir que en este ensayo no existió respuesta del cultivo a la fertilización potásica, probablemente porque el nivel de potasio disponible que presentó el suelo fue suficiente para suplir la demanda de potasio del cultivo.

La curva de acumulación de la materia seca total producida por el cultivo (Figura 14), derivada desde los datos de producción de materia seca de bulbos y parte aérea, se asimiló a una curva de tipo sigmoídea. Sin embargo, al adicionar la materia seca producida por las flores, la cual fue retirada en la desbotonadura, la curva se deforma en los puntos correspondientes a la floración (Figura 15).

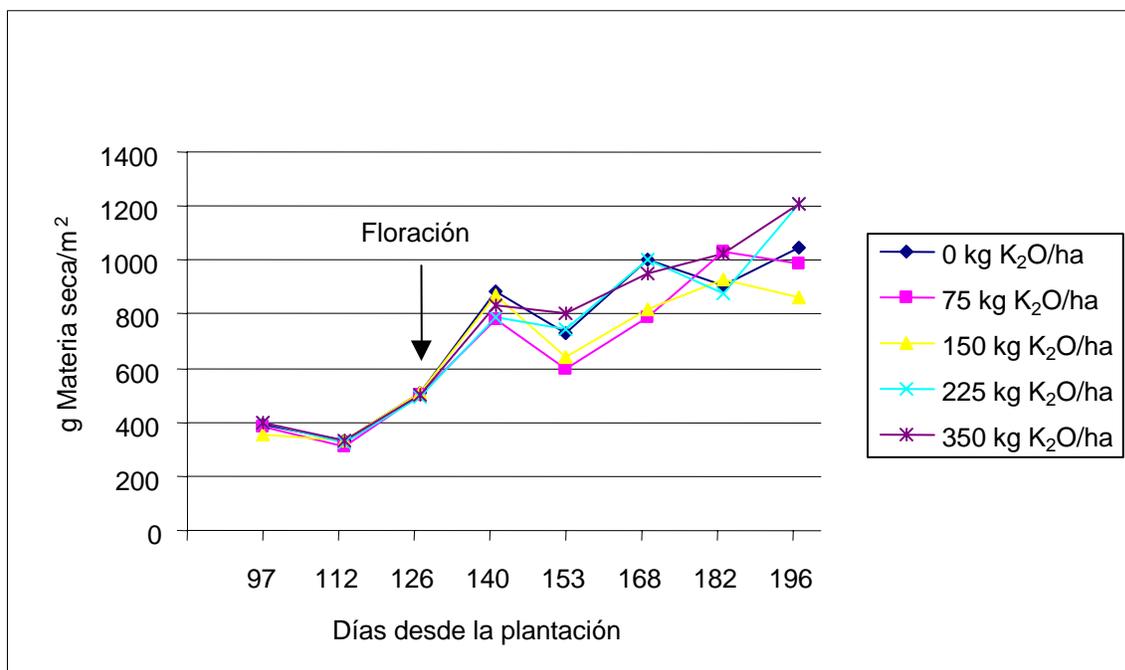


FIGURA 15 Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m²) de un cultivo de tulipán (incluyendo la materia seca de las flores, retirada en la desbotonadura).

En la Figura 15, derivada desde la misma forma que la descrita anteriormente para la Figura 14, pero incluyendo la materia seca producida por la flor, muestra que de continuar con la producción de flores y no siendo retiradas, la forma de la curva sigmoídea sería más empinada a partir de la colecta 4 que la mostrada en la Figura 14. Sin embargo, es probable que la productividad final sea similar o ligeramente superior.

4.1.4 Rendimiento de bulbos. La fertilización potásica no produjo diferencias significativas en el rendimiento de bulbos (Cuadro 13), lo cual podría ser resultado de un alto suministro de potasio del suelo, suficientes como para alcanzar un crecimiento máximo.

CUADRO 13 Rendimiento de bulbos (peso fresco) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

Tratamiento (kg K ₂ O/ha)	Rendimiento bulbos	
	toneladas / hectárea	g/bulbos plantados
0	20,55 ± 10,6 a	34,8 ± 2,6 a
75	17,51 ± 9,24 a	25,7 ± 7,8 a
150	16,62 ± 5,43 a	24,9 ± 6,1 a
225	23,11 ± 5,18 a	26,3 ± 8,6 a
350	19,77 ± 7,91 a	24,3 ± 4,7 a

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey)

4.1.5 Calibre de bulbos. En calibre de los bulbos a la cosecha comercial no se observaron diferencias significativas por efecto de la fertilización potásica (Cuadro 14). Sin embargo, se logro engordar los bulbos hasta un calibre comercial (mayor a 10 cm).

CUADRO 14 Calibre de bulbos (cm) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

Tratamiento (kg K ₂ O/ha)	Calibre
0	11,2 ± 0,6 a
75	11,2 ± 0,6 a
150	11,5 ± 1,0 a
225	12,3 ± 0,3 a
350	12,2 ± 0,6 a

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey)

CUADRO 15

Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de materia seca (g MS/m²) de los órganos de la planta de tulipán.

Parte vegetal (kg K ₂ O/ha)	Dosis	Días desde la plantación							
		97	112	126	140	153	168	182	196
Bulbo	0	269,52±22,12a	183,73±24,43a	172,72±17,64a	285,61±11,12a	491,73±185,43a	716,12±10,51a	699,11±16,43a	897±44,32 a
	75	264,73±67,21a	176,73± 8,12a	200,73±27,54a	217,51±44,13a	380,12±40,673a	558,73±17,82a	816,31±35,93a	823±25,62 a
	150	229,63±47,31a	188,13±36,53a	198,72±20,54a	238,44±48,13a	409,23±10,83 a	569,32±13,22a	721,73±15,43a	722±22,12 a
	225	278,82±22,34a	176,23±37,22a	177,32±16,11a	242,14±20,83a	488,32±11,23 a	720,23±64,42a	669,82±18,13a	1044±19,42 a
	350	274,93±65,31a	187,33±58,62a	146,32±8,61 a	265,71±1,99 a	525,74±19,13 a	674,32±13,12a	793,31±24,63a	1047±31,82 a
Parte Aérea	0	118,12±6,82 a	146,11±13,23a	181,32±49,92a	230,32±76,12a	241,12±64,62 a	283,72±31,61a	204,12±37,03a	148,11±55,12a
	75	118,43±3,82 a	134,31±18,53a	173,73±10,72a	196,32±2,13 a	218,13±6,81 a	227,31±45,12a	218,34±66,22a	150,31±37,82a
	150	120,62±8,32 a	147,41±14,23a	179,23±22,61a	213,32±48,14a	232,32±34,92 a	246,21±55,24a	208,72±19,22a	141,71±19,92a
	225	122,12±7,62 a	149,11±16,53a	147,13±15,52a	191,73±32,12a	255,23±63,22 a	285,31±25,58a	204,72±49,72a	166,21±15,22a
	350	123,12±3,13 a	145,32±18,93a	175,32±27,82a	215,23±51,22a	277,14±54,42 a	277,31±40,70a	227,32±44,22a	163,71±28,22a
Raíces	0	94,33±2,34 a	81,67±3,13 a	76,32±1,52 a	76,23±3,46 a	80,32±3,52 a	78,27±2,53 a	73,32±1,52 a	73,32±7,13 a
	75	95,52±4,32 a	80,33±5,23 a	78,32±4,58 a	71,13±6,92 a	76,81±4,02 a	75,72±6,42 a	78,33±4,01 a	78,32±6,03 a
	150	89,52±2,82 a	83,33±2,93 a	77,22±0,00 a	73,73±8,52 a	77,71±1,52 a	77,21±6,12 a	74,22±2,02 a	74,43±4,23 a
	225	92,52±1,42 a	82,33±3,83 a	77,44±1,00 a	75,23±1,72 a	77,31±1,21 a	81,74±2,12 a	74,73±2,52 a	74,72±3,23 a
	350	92,92±3,22 a	80,33±3,22 a	76,67±2,13 a	76,72±3,52 a	80,71±2,51 a	78,73±3,22 a	76,32±1,52 a	76,32±6,23 a
Flores	0			20,13±13,52 a	15,11±54,83 a				
	75			20,33±11,72 a	13,51±32,51 a				
	150			25,32±44,92 a	12,82±77,91 a				
	225			20,53±30,63 a	12,42±51,72 a				
	350			20,22±63,61 a	12,62±83,52 a				

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

4.2 Parámetros derivados.

Los parámetros derivados, corresponden a aquellos que se calculan a partir de los parámetros generales.

4.2.1 Absorción de potasio acumulada. La absorción de potasio (g K/m^2), es un parámetro derivado desde la multiplicación de la concentración de potasio en los tejidos por la producción de materia seca acumulada. Dado que ambos parámetros independientes no variaron con la dosis de fertilización potásica, la absorción acumulada de potasio era esperable que este parámetro derivado no fue estadísticamente diferente ($p>0,05$) debido a los tratamientos de fertilización.

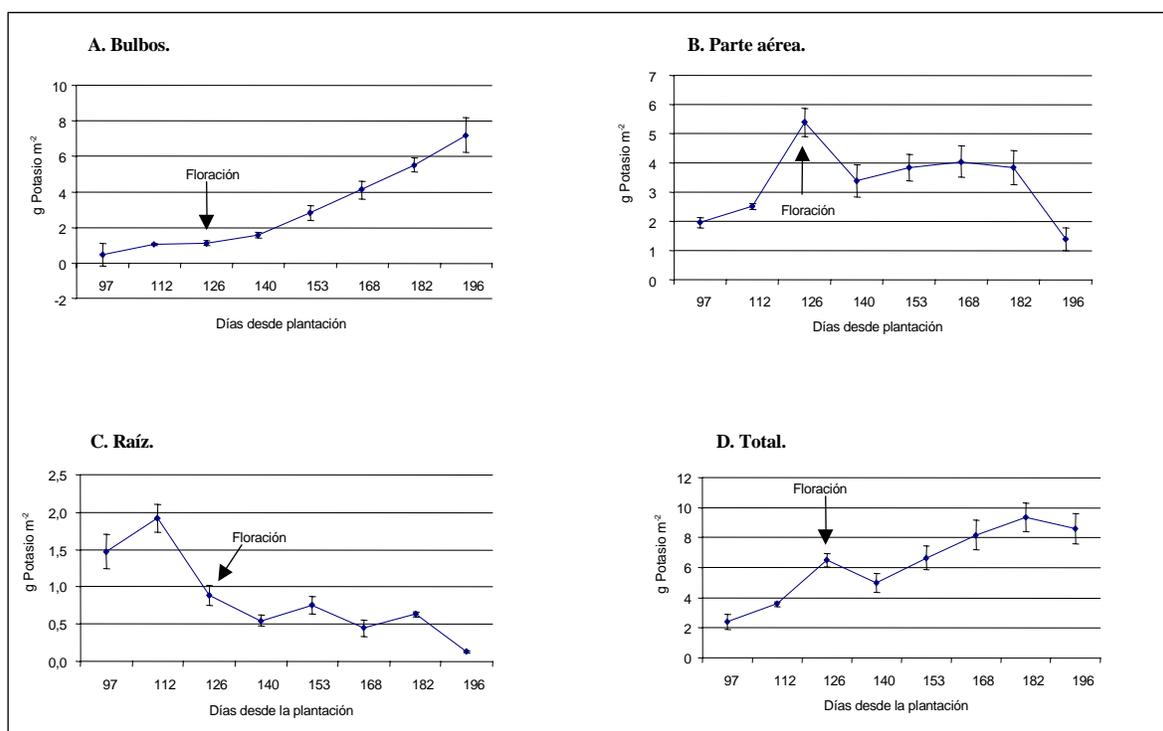


FIGURA 16 Absorción acumulada promedio de potasio a través del tiempo (g K/m^2) en el cultivo de tulipán. A. Bulbos; B. Parte aérea; C. Raíces y D. Total (bulbos más parte aérea).

El patrón general de la absorción de potasio del bulbo del tulipán (Figura 16 A), fue independiente de los tratamientos fertilización potásica ($p > 0,05$) (Cuadro 16, Anexo 10). Este fue creciente a través de todo el ciclo del cultivo, comenzando con un aumento paulatino desde valores iniciales en promedio de todos los tratamientos de $0,45 \text{ g K/m}^2$ en la primera colecta. El incremento fue leve hasta la cuarta colecta (el contenido de potasio no superaba los 2 g K/m^2 en todos los tratamientos), pero a partir de esta colecta se observó un agudo incremento en la absorción de potasio de los bulbos con ligeras diferencias entre tratamientos, las cuales no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$). El incremento observado a partir de la cuarta colecta es coincidente con la pérdida de las flores por descabezado lo que favorece la acumulación de materia seca en los bulbos y por ende el aumento de la absorción de potasio (WILD y JONES, 1992).

Las variaciones en el contenido de potasio en la parte aérea del tulipán (Figura 16 B), en general presentan dos épocas en las cuales se produce una disminución abrupta de la absorción de potasio. El primer punto ocurre con el descabezado de las flores (colecta 4), y el segundo punto de quiebre obedece a la traslocación de potasio hacia otros órganos, principalmente bulbos, entre esta colecta y la madurez fisiológica del cultivo.

La absorción de potasio en las raíces (Figura 16 C), mostró una disminución de la cantidad absorbida en los primeros estados que probablemente no sea real, ya que debido a la metodología de colecta de las raíces no fue completa por lo cual, este parámetro derivado muestra una tendencia similar a la observada en la materia seca de raíces colectadas y de la disminución de la concentración de potasio en las raíces colectadas. Sin embargo, para que se pudiese asegurar una disminución en la absorción de potasio debería en un estudio posterior colectarse todas las raíces producidas por el cultivo de tulipán.

CUADRO 16 Efecto de la fertilización potásica sobre la absorción de potasio (g K/m²) de los órganos de la planta de tulipán.

Parte vegetal	Dosis (kg K ₂ O/ha)	Días desde la plantación							
		97	112	126	140	153	168	182	196
Bulbo	0	1,62±0,32a	1,12±0,12 a	1,12±0,07 a	1,64±0,71a	3,11±1,51 a	4,51±0,91 a	5,12±1,71 a	7,61±4,31 a
	75	0,22±0,03 b	0,92±0,12 a	1,22±0,13 a	1,29±0,42a	2,31±0,24 a	3,41±0,81 a	5,92±2,43 a	6,51±2,73 a
	150	0,12±0,02 b	1,12±0,12 a	1,22±0,12 a	1,6±0,42 a	2,51±0,62 a	3,71±0,91 a	5,32±1,52 a	5,81±1,96 a
	225	0,21±0,03 b	1,03±0,32 a	1,22±0,23 a	1,67±0,22a	2,91±0,43 a	4,62±0,72 a	5,22±1,51 a	8,22±1,14 a
	350	0,23±0,03 b	1,14±0,31 a	0,92±0,23 a	1,67±0,22a	3,24±1,43 a	4,32±1,22 a	5,92±2,22 a	7,91±2,73 a
Parte aérea	0	1,74±0,52 a	2,48±0,22a	5,93±1,42 a	3,81±1,32a	3,71±1,13 a	4,12±0,22 a	3,12±0,32 a	0,92±0,42 a
	75	1,76±0,12 a	2,40±0,31 a	5,12±0,42 a	2,91±0,62a	3,91±0,23 a	3,22±0,32 a	4,21±0,81 a	1,92±0,41 a
	150	2,05±0,12 a	2,61±0,21 a	5,73±0,62 a	3,51±0,92a	3,91±0,54 a	4,12±0,92 a	3,62±0,42 a	1,22±0,43 a
	225	2,14±0,12 a	2,64±0,51 a	4,72±0,62 a	2,71±0,32a	3,91±1,10 a	4,62±0,62 a	3,72±0,71 a	1,82±0,72 a
	350	2,08±0,22 a	2,52±0,31 a	5,73±0,52 a	4,05±1,62a	4,42±1,11 a	4,72±0,92 a	4,62±1,40 a	1,32±0,22 a
Raíces	0	1,32±1,22 a	1,69±0,31 a	0,88±0,12 a	0,52±0,22a	0,94±0,21 a	0,41±0,21 a	0,62±0,20 a	0,21±0,10 a
	75	1,33±1,22 a	1,78±0,51 a	1,11±0,12 a	0,52±0,13a	0,64±0,21 a	0,31±0,23 a	0,61±0,10 a	0,11±0,03 a
	150	1,87±0,32 a	1,97±0,51 a	0,81±0,72 a	0,52±0,32a	0,94±0,21 a	0,41±0,22 a	0,64±0,10 a	0,10±0,03 a
	225	1,38±1,22 a	2,07±0,31 a	0,78±0,62 a	0,62±0,05a	0,71±0,10 a	0,61±0,21 a	0,63±0,10 a	0,21±0,10 a
	350	1,46±1,32 a	2,10±0,31 a	0,87±0,72 a	0,72±0,42a	0,72±0,10 a	0,51±0,22 a	0,72±0,10 a	0,10±0,03 a
Flores	0			4,82±2,81 a	6,22±0,71a				
	75			3,92±2,31 a	7,10±0,91a				
	150			3,12±0,91 a	7,82±0,51a				
	225			3,63±0,61 a	7,00±1,11a				
	350			3,93±1,31 a	6,83±1,51a				

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas (p < 0.05)

La absorción de potasio total (Figura 16 D), considerando parte aérea más bulbos, en general, presenta una curva de acumulación creciente del potasio en el cultivo. Ello ratifica que la disminución del potasio en la parte aérea se debe a la traslocación del potasio hacia los bulbos, lo cual ocurrió en forma independiente de los tratamientos de fertilización potásica. La acumulación fue creciente hasta la madurez fisiológica con una ligera disminución no significativa entre madurez fisiológica y comercial debida probablemente a pérdidas en el material de colecta. Como se observa en la Figura 16 D, la absorción total alcanza valores entre 8 y 10 g K/m². La disminución en la absorción de potasio observada entre la colecta tres y cuatro obedece a la pérdida producida por el retiro de las flores debido al descabezado, práctica que al producirse retiró parte del material aéreo producido hasta la colecta tres.

4.2.2 Tasa de crecimiento. El parámetro tasa de crecimiento (**g MS/m²/día**), se describirá en forma general para el cultivo del tulipán debido a que los tratamientos de potasio no afectaron significativamente el crecimiento del cultivo. De esta forma, la tasa de crecimiento de los bulbos (Figura 17 B), en general muestra una disminución a partir de la emergencia hasta la segunda colecta, debido a que este es un órgano de reserva responsable del crecimiento inicial de la planta. Sin embargo a partir de la segunda colecta y hasta la quinta colecta mostró una tasa de crecimiento creciente. A partir de este punto su tasa de crecimiento disminuyó, lo cual puede deberse al aumento de la complejidad del cultivo debido al aumento de estructuras vegetativas que están perdiendo su vida útil por sobre la creación de nuevas estructuras vegetativas (VAN KEULEN y WOLF, 1986).

Similarmente la parte aérea del cultivo (Figura 17 C), mostró un incremento en la tasa de crecimiento hasta el quinto muestreo a partir del cual la tasa de crecimiento disminuyó. Esta tasa de crecimiento se muestra negativa

entre la colecta seis y siete (madurez fisiológica) mostrando que a partir de la colecta seis no existe producción de hojas y estas en su mayoría se transforman en estructuras senescentes que no producen aportes de carbohidratos a la planta y probablemente su respiración sea mayor que la producción de carbohidratos. Este fenómeno es similar para todas las especies vegetales y se debe a la natural ontogenia de las hojas (VAN KEULEN y WOLF, 1986).

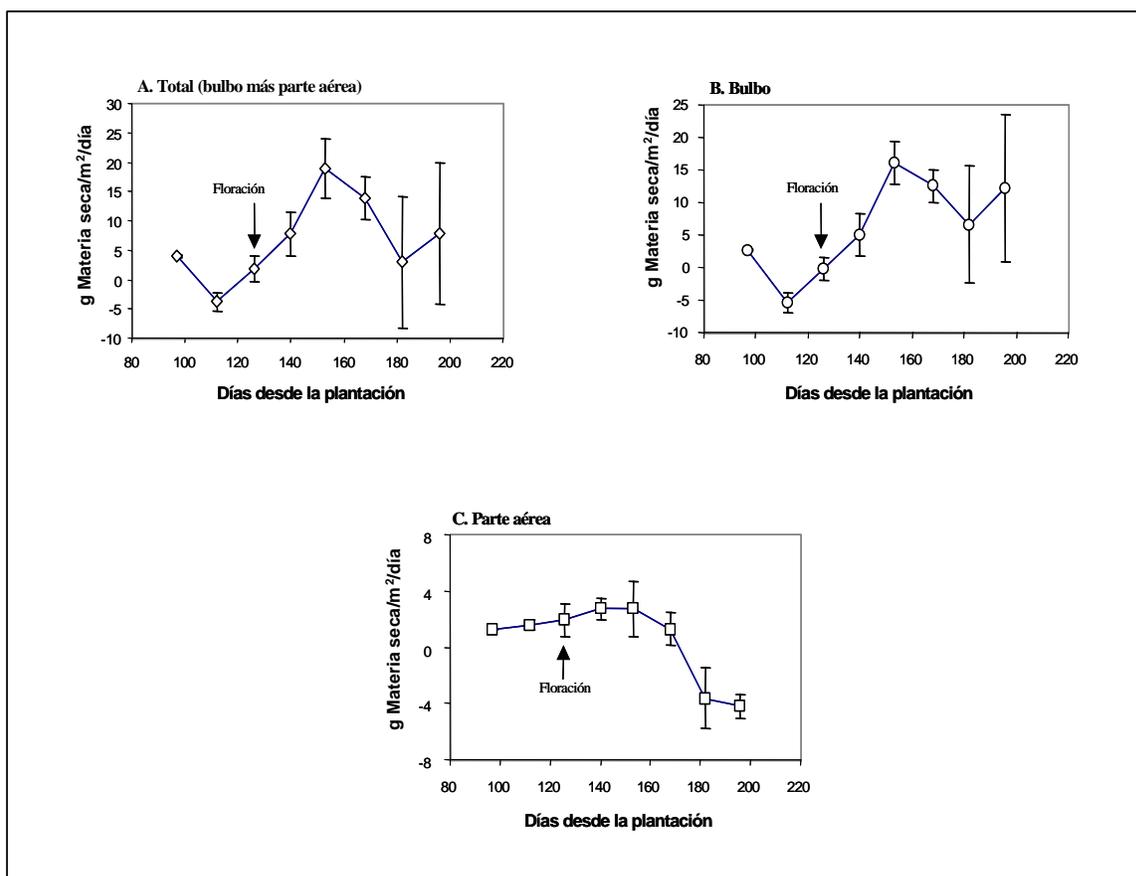


FIGURA 17 Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento promedio (g MS/m²/día) de un cultivo de tulipán. A. Total (bulbo más parte aérea); B. Bulbo; C. Parte aérea.

La tasa de crecimiento total considerando parte aérea y bulbos en las plantas descabezadas muestra un patrón dominado por la producción de bulbos (Figura 17 A). Es decir, que el crecimiento inicial de la parte aérea no

compensa totalmente la pérdida de materia seca inicial de los bulbos. Ello se debe a que parte de la pérdida inicial de materia seca de los bulbos está destinada a la producción de raíces, fenómeno que en los estados iniciales de los cultivos es más importante que la producción de materia seca aérea (VAN KEULEN y WOL, 1986).

Posteriormente la tasa de crecimiento total, se muestra similar a la tasa de crecimiento de los bulbos, ello dado porque en este estudio se descabezó el cultivo para evitar la formación de flores y se privilegió la formación de bulbos.

4.2.3 Tasa de absorción de potasio. El parámetro tasa de absorción de potasio, se describirá en forma general para el cultivo del tulipán debido a que los tratamientos de potasio no afectaron significativamente la absorción de este nutriente. De esta forma, la tasa de absorción de los bulbos (Figura 18 B), en general tienden a aumentar debido a que este es un órgano de reserva al cual se trasloca el potasio hacia el final del ciclo del cultivo.

La tasa de absorción de potasio en la parte aérea (Figura 18 C), mostró un incremento hasta la floración, a partir del cual en forma general la tasa de absorción disminuyó. Esta tasa de absorción se muestra negativa entre la sexta y octava colecta, ya que desde la colecta seis no existe absorción de potasio debido a que este está siendo traslocado hacia el bulbo.

La tasa de absorción total considerando bulbos más parte aérea (Figura 18 A), muestra un patrón dominado desde la colecta uno a la cuatro por la parte aérea de la planta y desde la colecta cinco a la siete por el bulbo. Es decir, que en los primeros estados de la planta la absorción de potasio es mayormente realizada por las hojas y posteriormente este potasio es traslocado hacia el bulbo.

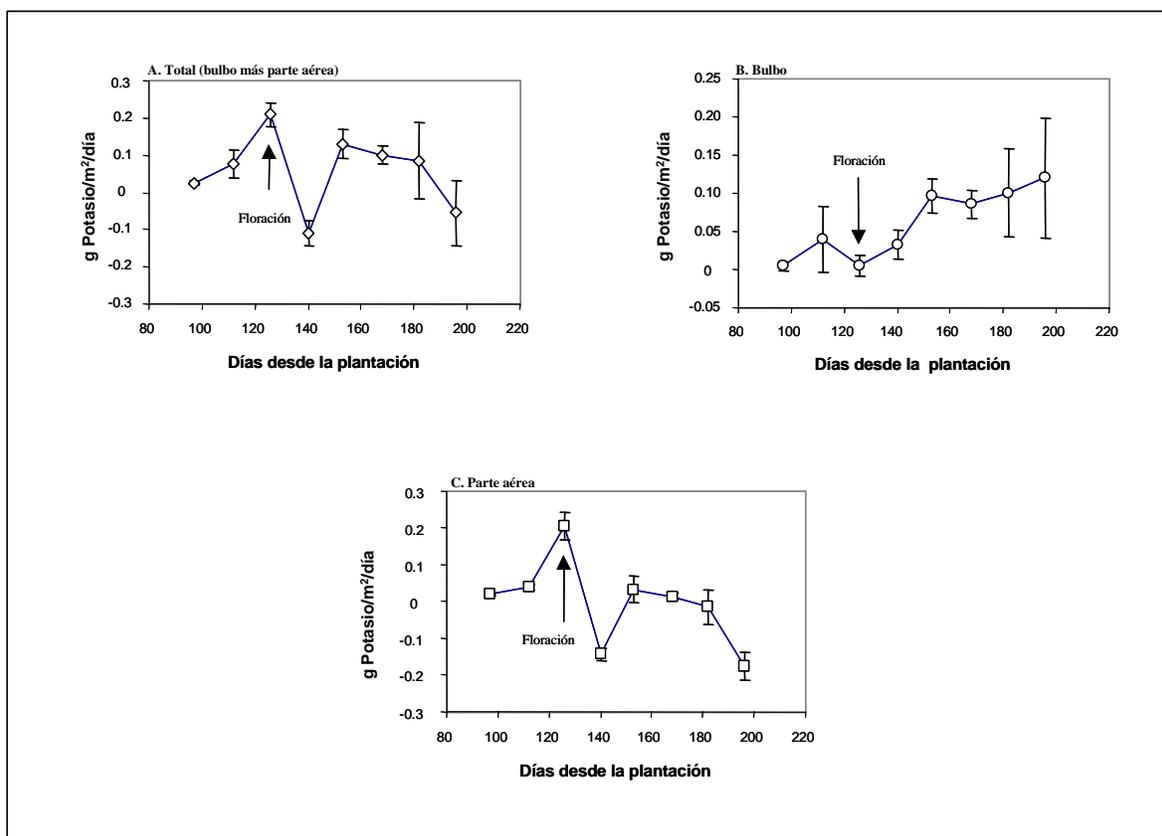


FIGURA 18 Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa absorción de potasio promedio ($\text{g K/m}^2/\text{día}$) en un cultivo de tulipán. A. Total (bulbo más parte aérea); B. Bulbo; C. Parte aérea.

4.3 Parámetros de demanda.

Los parámetros de demanda, corresponden a aquellos utilizados en el cálculo de la demanda de nutrientes de los cultivos, es decir, requerimiento interno, índice de cosecha, humedad de cosecha y eficiencia de fertilización.

4.3.1 Requerimiento interno de potasio. El requerimiento interno de potasio (**RIK**), es la concentración mínima óptima de potasio necesaria para realizar las funciones estructurales y/o metabólicas que requiere el cultivo. Como se puede observar en la Figura 19, esta fue variable a través del tiempo debido a que el potasio es un nutriente necesitado en mayores concentraciones en los estados iniciales cuando la planta está dominada por sus funciones metabólicas de

producción de proteínas y ácidos nucleicos necesarios, debida a la alta división celular de los primeros estados de crecimiento. Posteriormente, las mayores funciones de potasio están dominadas por las funciones hídricas y la traslocación de carbohidratos en donde la concentración de potasio requerida es menor y además, existe una mayor producción de compuestos libres o de muy baja acumulación de nutrientes como son las celulosas, hemicelulosas y lignina (GREENWOOD y DRAYCOTT, 1995).

El requerimiento interno de potasio aumentó en su concentración hasta la floración del tulipán. Este aumento en concentración, muestra la activa división celular y crecimiento a que están sometidas las plantas durante sus primeros estados y que a partir del órgano de reserva se produce un incremento en las necesidades de potasio de la planta. Desde este punto, se observa que el requerimiento interno de potasio decae continuamente hasta la madurez fisiológica del cultivo. Los tratamientos de fertilización potásica no alteraron este patrón de variación del requerimiento interno del cultivo y no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$). El máximo valor de concentración de potasio se observó en la floración con el tratamiento de 350 kg K_2O/ha con 2,1%, pero el tratamiento sin aplicación de potasio fue de 1,99%, lo que ratifica que no fue afectado por la fertilización potásica y que este parámetro no mostró un aumento significativo de consumo de lujo. Actualmente parte de la literatura internacional, señala que la absorción de nutrientes estaría gobernada parcialmente o totalmente por el requerimiento interno de la planta, especialmente en el caso de nutrientes con una significativa absorción activa como serían potasio y fósforo (GREENWOOD y DRAYCOTT, 1995; DE WILLIGEN y VAN NOORDWIJCK, 1995), lo cual no habría sido considerado en los modelos de absorción de Barber y colaboradores (JUNGK, 2001). El efecto de disminución de la concentración de potasio a través del tiempo, mostró que en la madurez fisiológica del cultivo los valores de potasio variaron entre 1,03 % y 0,91% para la fertilización de 350 kg K_2O/ha y sin aplicación de

potasio. Debido a la baja variación observada en la concentración de potasio, la cual no fue estadísticamente diferente, se considerará como aproximación preliminar que el requerimiento interno de potasio obedece al promedio de las observaciones obtenidas en la madurez fisiológica (séptima colecta), cuando se desea estimar la absorción total de potasio para la producción de bulbos. Cuando se desee estimar la absorción de potasio para la producción de flores, el requerimiento interno que se debe utilizar corresponde al valor promedio observado en la tercera colecta, es decir, para flores 1,95g K/100 g de MS y para bulbos 1g K/100 g de MS.

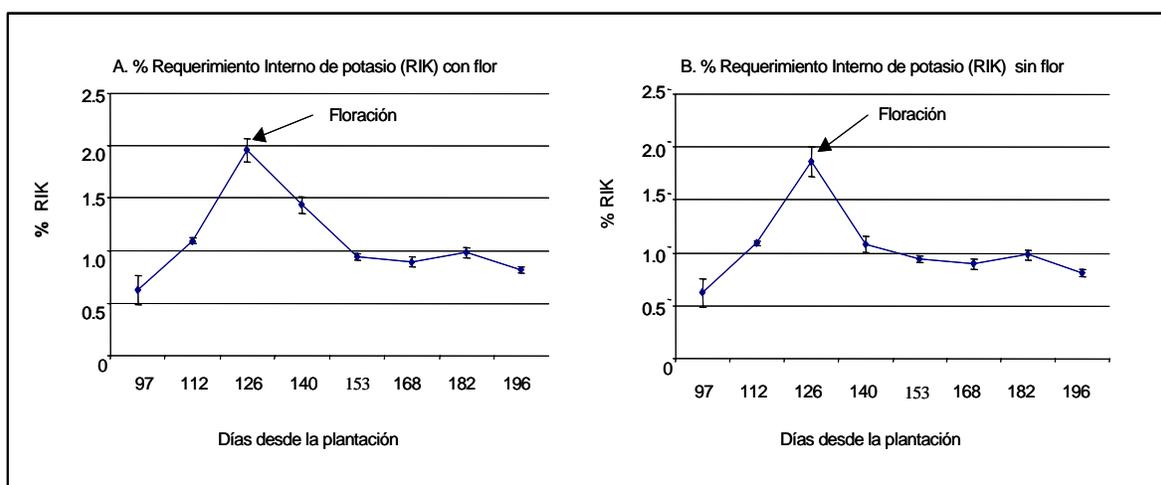


FIGURA 19 Variación en el tiempo del requerimiento interno promedio (%RIK) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

En el Cuadro 17, se presentan los valores de RIK obtenidos en la cosecha comercial (196 días desde la plantación) y en la madurez fisiológica para los distintos tratamientos nutricionales aplicados en el ensayo. Los datos obtenidos en la cosecha comercial fueron menores debido a que hubo una pérdida de materia seca de la parte aérea en los muestreos, por lo que los datos obtenidos en la madurez fisiológica podrían ser más apropiados para derivar parámetros útiles en la fertilización del cultivo.

En general, el RIK de los tratamientos a 182 días desde la plantación es cercano al de los cultivos que son cosechados en su período de senescencia (cereales, raps, papas) y muy inferior al RIK de leguminosas hortícolas y de aquellos cultivos que son cosechados antes de su madurez fisiológica (PINOCHET, 1999 b).

CUADRO 17 Requerimiento interno de potasio (g/100g) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

Tratamiento (kg K ₂ O/ha)	Días desde la plantación		
	126 ¹	182 ²	196 ³
0	1,99 ± 0,16 a	0,91 ± 0,01 a	0,81 ± 0,07 a
75	1,79 ± 0,13 a	0,97 ± 0,15 a	0,85 ± 0,09 a
150	1,96 ± 0,16 a	0,96 ± 0,02 a	0,82 ± 0,10 a
225	1,92 ± 0,02 a	1,02 ± 0,05 a	0,82 ± 0,05 a
350	2,11 ± 0,08 a	1,03 ± 0,07 a	0,76 ± 0,00 a

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey)

¹ Fecha desde la plantación de la Desbotonadura.

² Fecha desde la plantación de la Madurez fisiológica.

³ Fecha desde la plantación de la Cosecha comercial

4.3.2 Humedad de cosecha. La humedad de cosecha (**HC**) en el bulbo del tulipán, en general presenta una tendencia a disminuir a través de los estados fenológicos del cultivo (Figura 20). Esta disminución, sin embargo, varía entre 0,72 g/g hasta valores de 0,61 g/g, considerando hasta la madurez fisiológica del cultivo. Posteriormente los bulbos pierden un poco más de este contenido de humedad llegando hasta valores promedio de $0,53 \pm 0,04$ g/g este parámetro en los bulbos colectados y con una variación entre 0,57 y 0,47 g/g.

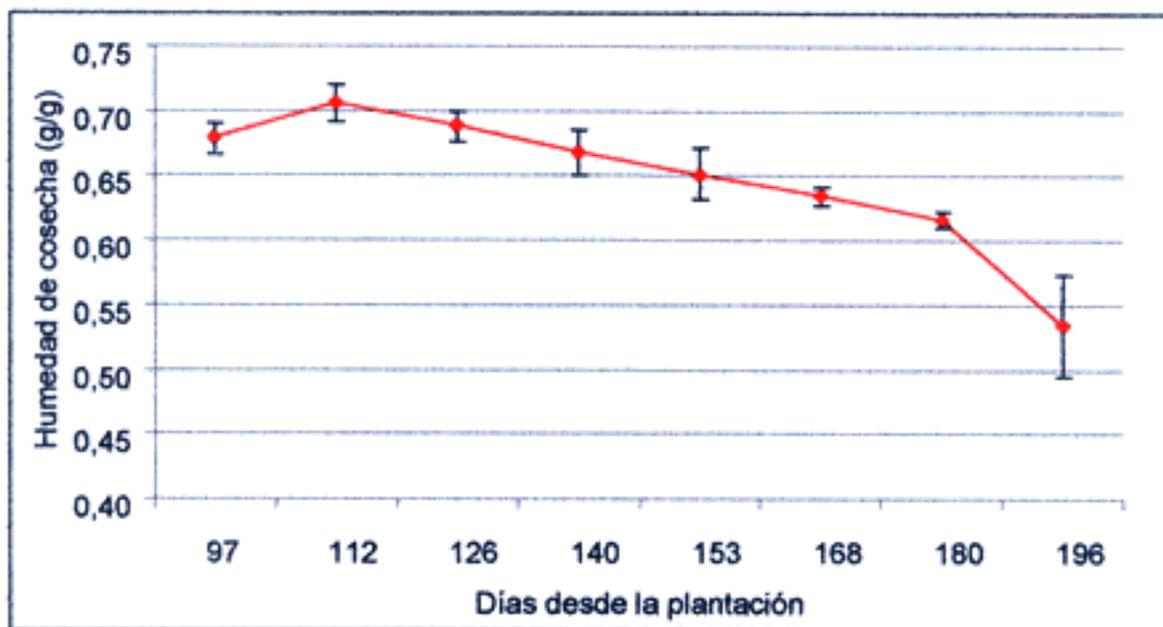


FIGURA 20 Promedio de humedad de cosecha (HC) de bulbos (g/g), de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

Valores similares han sido reportados por THOMPSON y TAYLOR (1979) y ARTACHO (2001), por lo cual se propone como valor preliminar un valor de 0,51 g/g para el cálculo de la fertilización potásica.

CUADRO 18 Humedad de cosecha (g/g) de bulbos de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

Dosis (kg K ₂ O/ha)	Días desde la plantación	
	182	196
0	0,613 ± 0,019 a	0,560 ± 0,012 a
75	0,600 ± 0,024 a	0,457 ± 0,196 a
150	0,613 ± 0,008 a	0,563 ± 0,011 a
225	0,613 ± 0,021 a	0,543 ± 0,017 a
350	0,623 ± 0,023 a	0,447 ± 0,178 a

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$; Tukey)

4.3.3 Índice de cosecha. El índice de cosecha no presenta diferencias significativas ($p > 0,05$), debido a que la producción de materia seca de los bulbos y de la materia seca total tampoco mostró diferencias significativas producidas por la fertilización potásica.

En el Cuadro 19, se presentan estos resultados juntos con los pertenecientes a una fecha anterior a la cosecha, debido a que hubo una pérdida de material vegetal de la parte aérea en la última cosecha, la cual influyó en la medición de la materia seca total y por lo tanto en el índice de cosecha.

CUADRO 19 Índice de cosecha (g/g) de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.

Tratamiento (kg K ₂ O/ha)	Días desde la plantación	
	182	196
0	0,77±0,03 a	0,86±0,02 a
75	0,79±0,02 a	0,85±0,03 a
150	0,78±0,05 a	0,84±0,03 a
225	0,77±0,01 a	0,86±0,02 a
350	0,78±0,01 a	0,86±0,05 a

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$; Tukey)

Al igual que el requerimiento interno de potasio y la humedad de cosecha, los valores de índice de cosecha presentados aquí tienen utilidad como referencias en los cálculos de la dosis de fertilización potásica a aplicar en el cultivo del tulipán, proponiéndose el valor de índice de cosecha de 0,78 g/g, obtenido de la colecta 7, debido a que en esta colecta nos aseguramos que no existió pérdida de material al secarse las hojas como ocurrió en la colecta 8.

4.4 Eficiencia de fertilización potásica.

Este parámetro de fertilización no pudo ser calculado debido a que la absorción del tratamiento testigo fue estadísticamente igual a la de los otros tratamientos, no logrando determinar un tratamiento óptimo de fertilización.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se realizó este experimento se concluye que

1. Con valores de 156 mg/kg de suelo de K intercambiable no existe respuesta a la fertilización potásica en producción de bulbos del cultivo del tulipán, ni en el calibre de los bulbos y que el nivel de K del suelo fue suficiente para obtener calibres considerados comerciales.
2. El requerimiento interno de K en el cultivo del tulipán varía a través del tiempo y muestra una tendencia creciente desde emergencia hasta la floración del cultivo y una disminución a partir de floración hasta la madurez comercial de los bulbos del cultivo. Para objetivos de cálculo de la demanda de K para bulbos de tulipán se debe utilizar un valor de requerimiento interno de 1,00 g K/100 g de MS.
3. La humedad de cosecha del bulbo de tulipán disminuye a través del tiempo y el valor para el cálculo de la demanda de potasio es propuesta como 0.51 g MS/g Materia fresca
4. El Índice de cosecha del cultivo no varió con la fertilización potásica y se propone como valor para el cálculo de la demanda de K para bulbos de tulipán como 0.78 g MS/g MS.
5. Después de una inicial disminución de la tasa de crecimiento de los bulbos en los primeros estados fenológicos de la planta, la tasa de crecimiento del bulbo es creciente hasta la máxima expansión de hojas (quinta colecta) y disminuye hasta la madurez fisiológica. Este aumento de la tasa de

crecimiento es consistente con la disminución de la tasa de crecimiento de la parte aérea.

6. La tasa de absorción de K de los bulbos es creciente a través de todo el ciclo de crecimiento, en tanto que la tasa de absorción de K de la parte aérea es creciente hasta la floración y disminuye a partir de este punto hasta la madurez fisiológica.
7. La eficiencia de la fertilización potásica no pudo ser determinada ya que no existió respuesta a la fertilización K.

RESUMEN

Con el objetivo central de determinar los parámetros necesarios de la demanda de potasio del cultivo de engorda de bulbos del tulipán, se realizó un ensayo de fertilización potásica en condiciones de campo. En un diseño de bloques completamente al azar se plantaron bulbos de tulipán del cultivar Negrita de calibre 7 a 9 cm. Los tratamientos fueron dosis de fertilización potásica equivalentes a 0, 75, 150, 225 y 350 kg K₂O/ha. Durante el ciclo del crecimiento del cultivo se determinó el crecimiento del cultivo cada quince días a partir de la emergencia del cultivo hasta la madurez comercial de los bulbos, totalizando 8 colectas. El cultivo fue desbotonado de sus botones florales entre la tercera y cuarta colecta. Se determinó la producción de materia seca (g/m²) en cada colecta de bulbos, parte aérea y raíces, el contenido de humedad (g/g) de cada órgano y la concentración de K (g K/100 g MS) de los órganos. En la última colecta se evaluó el calibre de los bulbos cosechados. De estos parámetros directos se derivaron los parámetros de absorción de K (g K/m²), la tasa de absorción de K (mg K/día/m²) de cada órgano y el índice de cosecha (g/g).

Bajo las condiciones en que se realizó el ensayo se concluye que con valores de 156 mg K intercambiable/kg de suelo no existe respuesta a la fertilización potásica en producción de bulbos ni en su calibre. El requerimiento interno de K del cultivo varía a través del tiempo y muestra una tendencia creciente hasta la floración del cultivo y una disminución a partir de la floración hasta la madurez comercial de los bulbos. Para objetivos de cálculo de la demanda de K para la producción de bulbos de tulipán se propone un requerimiento interno de 1,00 g K/100 g de MS, un valor de humedad de cosecha de 0,51 g MS/g MF y un Índice de Cosecha de 0,78 g MS/g MS.

SUMMARY

With the aim to determinate the necessary parameters for the K demand for tulip bulbs production a K fertilization field trial was done. Using a randomized block design bulb of 7 to 9 cm of caliber of Boldface variety were used. The Potassium fertilization treatments were rates equivalent to 0, 75, 150, 225 y 350 kg K₂O/ha. During the growing period it was evaluated the crop growth each fifteen days from emergence to bulb maturity, totaling 8 harvests. The flower of the crop were cut between the third and fourth harvest. In each harvest, It was measured the dry matter production (g DM/m²) of bulbs, above ground material and roots, the water content of each organ (g/g) and the K concentration in each organ (g K/100 g DM). At the last harvest the caliber of the bulbs was also registered. From the direct parameters it was derived the K crop uptake (g K/m²) , the crop K uptake rate (mg K/day/m²) and the harvest index (g DM/g DM).

From this experiment and under the conditions that it was done it is concluded that with a soil exchangeable K of 156 mg/kg of soil there is not response to K fertilization for tulip bulb yield and in tulip bulb caliber. The K internal requirement of the crop varies with time and it shows an increase from emergence to flowering and a decrease from there to tulip bulb commercial maturity. For an objective of the K demand of tulip bulbs yield it is proposed an K internal requirement of 1,00 g K/100 g of DM, an humidity at harvest of 0.51 g DM/ g FM and a Harvest Index of 0.78 g DM/g DM.

BIBLIOGRAFÍA

- ARMITAGE, A. 1993. Specialty cut flowers. Portland, Estados Unidos. Timber Press. 372 p.
- ARTACHO, P. 2001. Determinación de los parámetros necesarios para la fertilización nitrogenada del cultivo del tulipán (*Tulipa* sp.). Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 96 p.
- BAÑON, S.; CIFUENTES, D.; FERNANDEZ, J.A. y GONZALEZ, A. 1993. Gerbera, Liliium, Tulipán y Rosa. Madrid, España. Mundi-prensa. 250 p.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA), 1997 a. Producción y comercialización del tulipán. Centro Regional de Investigación Carillanca. Temuco, Chile. Serie Carillanca N°56. 78 p.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA), 1997 b. Tulipán, antecedentes generales del cultivo. Agro Análisis (Chile) 153: 21-24.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS NATURALES (IREN), CORPORACION DE FOMENTO A LA PRODUCCION (CORFO) y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (UACH). 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Santiago, Chile. 178 p.

- DE HERTOOGH, A y LE NARD, M. 1993. The physiology of flower bulbs. Amsterdam, Holanda. Elsevier Science. 811 p.
- DE WILLIGEN, P y VAN NOORWIJK, M. 1995. Root, plant production and nutrient use efficiency. PhD Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 282 pp.
- FUENTES, J. 1994. El suelo y los fertilizantes. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 327 p.
- GREENWOOD, D. y DRAYCOTT, A. 1995. Modelling up take of nitrogen, phosphate and potassium in relation to crop growth. In: Kabat P.; Marshall B.; Van Der Brock B.J.; Vos J. y Van Keulen H. (ed.). 1995. Modeling and parameterization of the soil-plant-atmosphere system. A comparison of potato growth models. Amsterdam, Holanda. pp: 155-175
- HALEVY, A. 1983. Handbook of flowering. Florida, Estados Unidos. CRC Press. V4. 568 p.
- HARTMANN, H y KESTER D. 1997. Plant propagation, principles and practices. Estados Unidos. Prentice Hall. 768 p.
- JUNGK, A. 2001. Nutrient movement at the soil-root interface its role in nutrient supply to plants. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 1(1): 1-18.
- MATUS, F. 1996. Fertilización y nutrición del tulipán. In: Schiappacasse, F. (ed.). 1996. El cultivo del tulipán. Chile. Universidad de Talca. pp: 31-52.

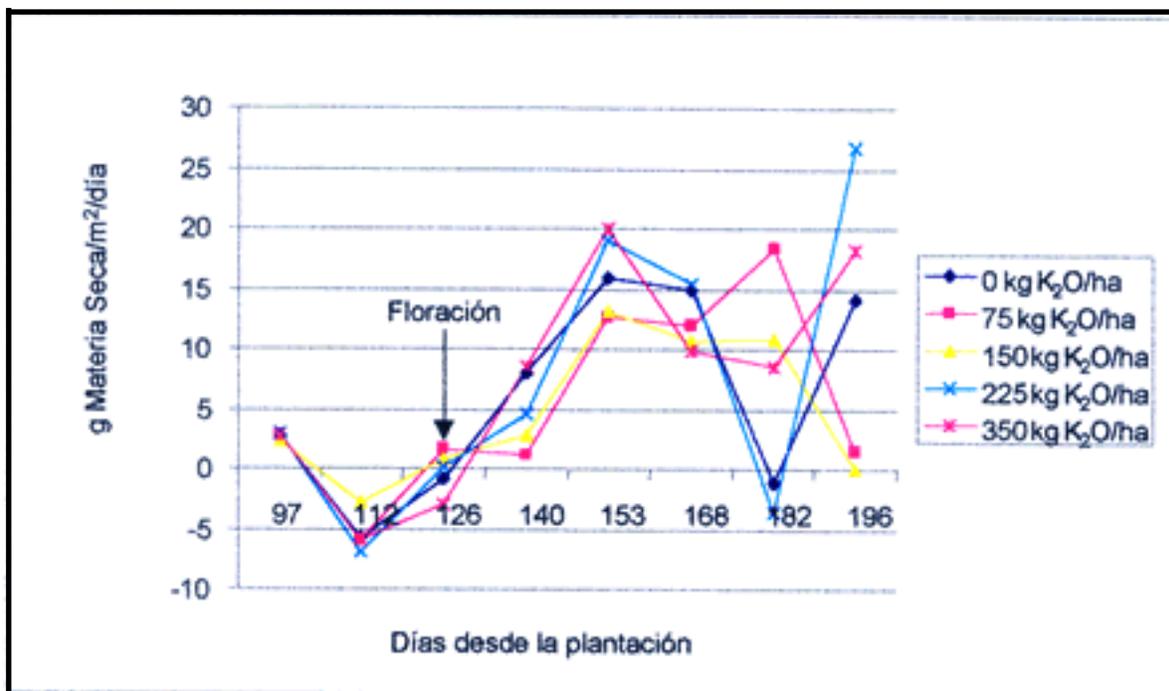
- NISSEN, J. 1974. Estudio agronómico del fundo "Santa Rosa". Valdivia, Chile. Instituto de Suelos y Abonos, Universidad Austral de Chile. 47p.
- ORTEGA, S. y MEDIAVILLA, W. 1996. Requerimientos hídricos del tulipán. In: Schiappacasse, F. (ed.). 1996. El cultivo del tulipán. Chile. Universidad de Talca. pp: 54 - 60
- PINOCHET, D. 1999 a. Fertilización de las plantas bulbosas. In: Seemann, P. y Andrade, N. (eds.). 1999. Cultivo y Manejo de Plantas Bulbosas Ornamentales. Valdivia, Chile. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. pp: 123 – 137.
- PINOCHET, D. 1999 b. Manual de interpretación de análisis de suelo, para la fertilización de los cultivos. Valdivia, Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Austral de Chile. Guía N° 1: Curso Nutrición Vegetal.
- PINOCHET, D. 1999 c. Aspectos derivados de la demanda de nutrientes. Valdivia, Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Austral de Chile. Guía N° 2: Curso Nutrición Vegetal.
- PINOCHET, D. 1999 d. Fertilizantes y su usos. Valdivia, Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Austral de Chile. Guía N° 4: Curso Nutrición Vegetal.
- REES, A. 1972. The growth of bulbs: applied aspects of the physiology of ornamental bulbous crops plants. Londres, Inglaterra. London Academic Press. 311 p.

- RODRIGUEZ, S. J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Santiago, Chile. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Colección en Agricultura. 291 p.
- SALISBURY, F. y ROSS, C. 1985. Plant Physiology. 3ª ed. California. Estados Unidos. Wadsworth. 540 p.
- SCHIAPPACASSE, F. 1996. El cultivo del tulipán. In: Schiappacasse, F. (ed.). 1996. El cultivo del tulipán. Chile. Universidad de Talca. pp: 11 – 30.
- SCHIAPPACASSE, F. 1999. Cultivo del Tulipán. In Seemann, P y Andrade, N. (eds.). 1999. Cultivo y manejo de plantas bulbosas ornamentales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. pp: 3-12.
- SORIANO, J. 1991. Plantas bulbosas en jardinería. Madrid, España. Floraprint. 142 p.
- THOMPSON R. y TAYLOR H. 1979. Field plots for the practical estimation of potencial yield. Scientia Horticulturae (Holanda) 10: 309-316.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.; BEATON, J. y HAULIN, J. 1993. Soil fertility and fertilizers. New York, Estados Unidos. Macmillan publishing company. 634 p.
- VAN KEULEN, H y WOLF, J. 1986. Modelling of agricultural production: weather, soil and crops. Wageningen, Netherlands. Puduc Wageningen. 479 p.
- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid, España. Mundi-prensa. 1045 p.

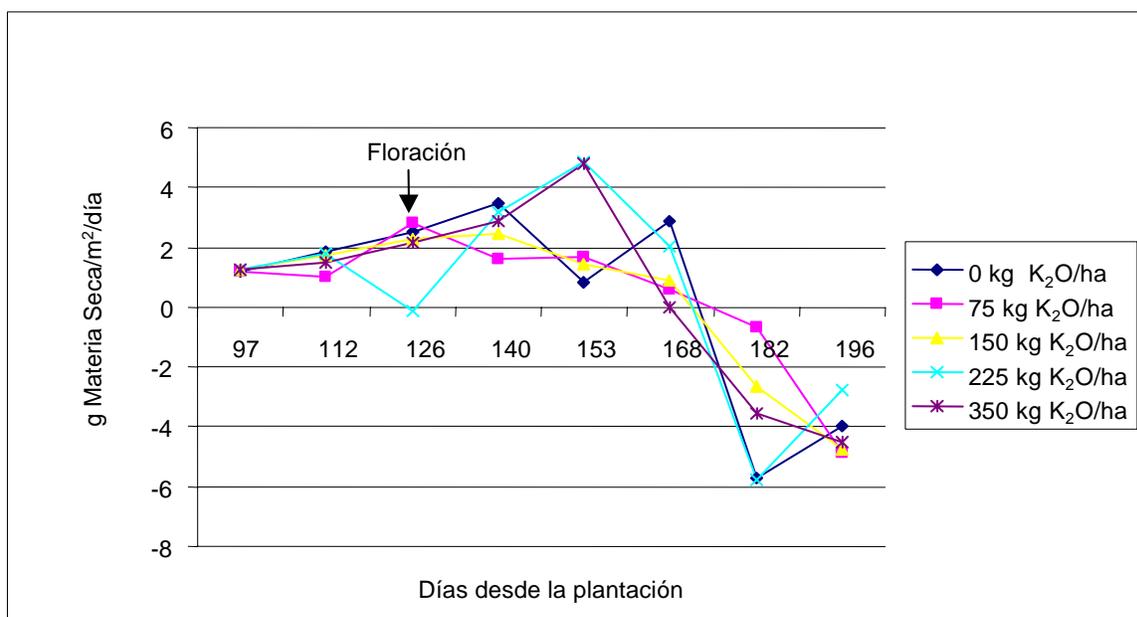
WILD, A. y JONES, L.H.P. 1992. Nutrición mineral de las plantas cultivadas In: Wild, A. (ed.). 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid, España. Mundi-prensa. pp: 31-72

ANEXOS

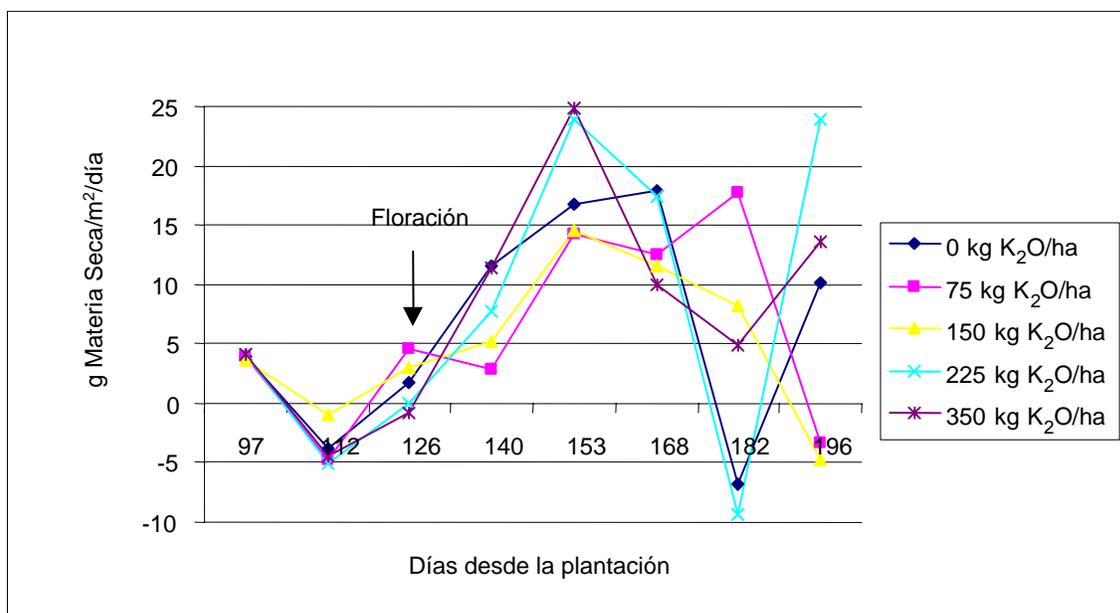
ANEXO 1 Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento (g MS/m²/día) de los bulbos de un cultivo de tulipán.



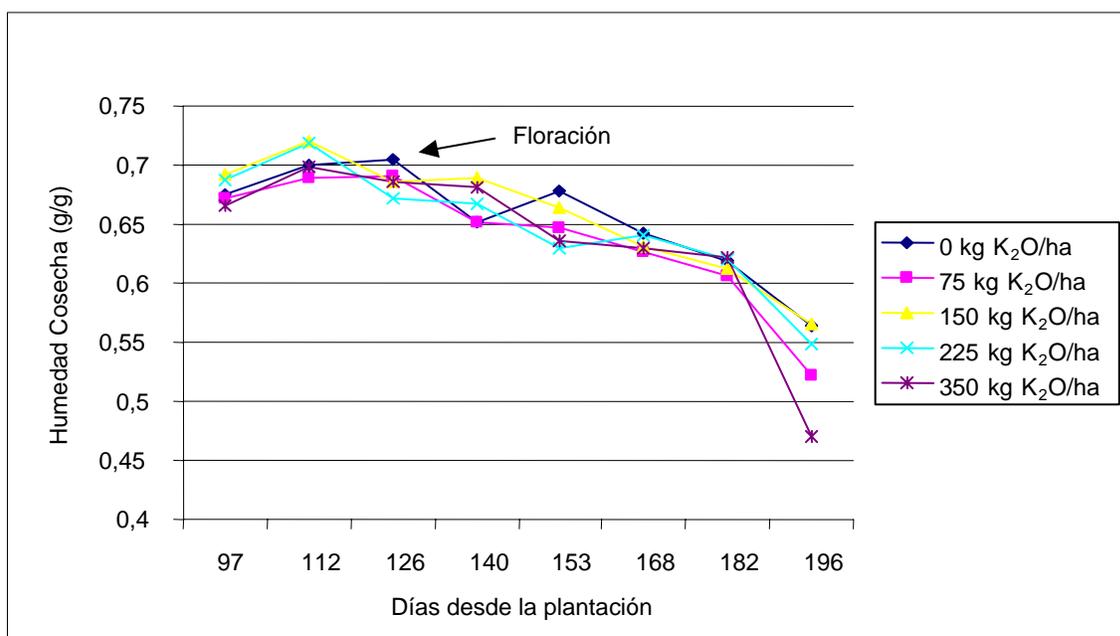
ANEXO 2 Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento (g MS/m²/día) de la parte aérea de un cultivo de tulipán.



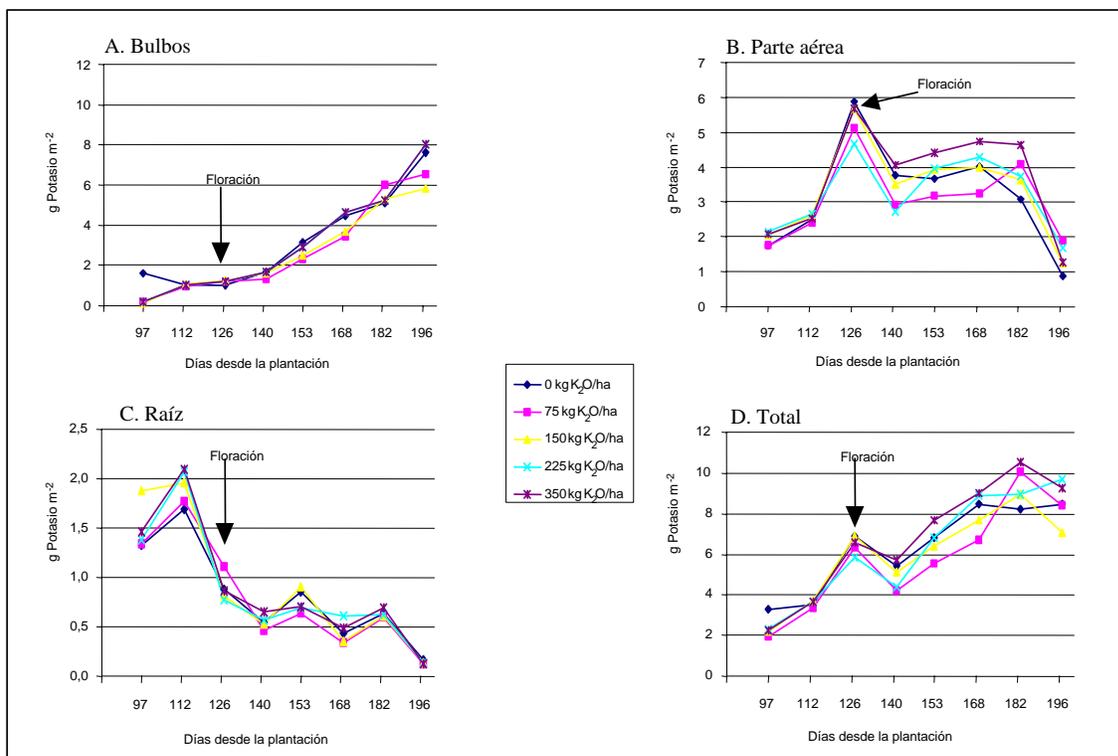
ANEXO 3 Efecto de la fertilización potásica sobre la tasa de crecimiento (g MS/m²/día) de un cultivo de tulipán (sin incluir las flores retiradas en la desbotonadura).



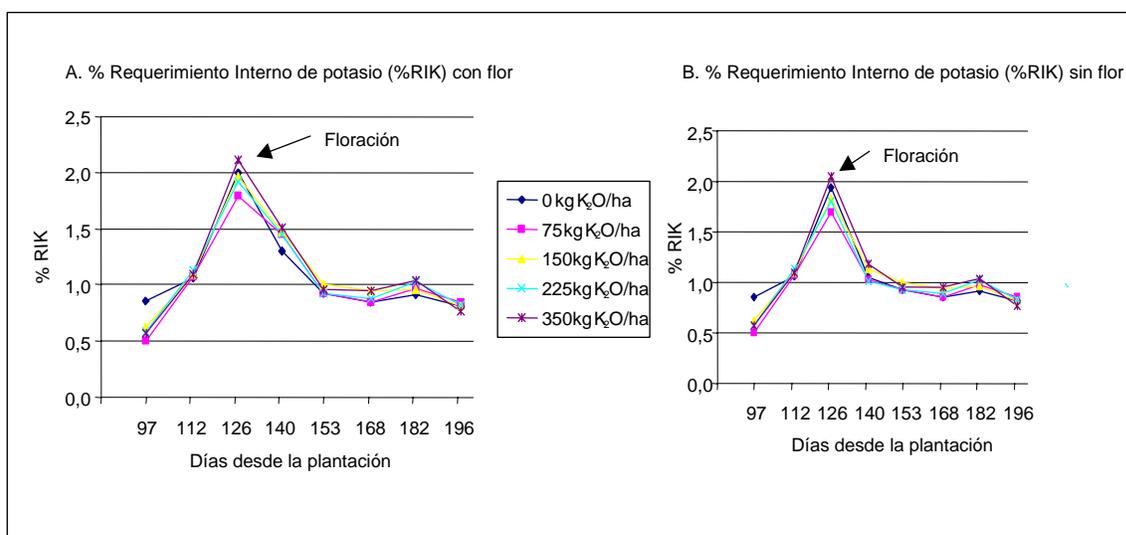
ANEXO 4 Humedad de cosecha (HC) de bulbos (g/g), de un cultivo de tulipán bajo cinco tratamientos de fertilización potásica.



ANEXO 5 Absorción acumulada de potasio a través del tiempo en el cultivo de tulipán (g K/m²). A. Bulbo; B. Parte aérea; C. Raíces y D. Total (bulbo más parte aérea).



ANEXO 6 Variación en el tiempo del requerimiento interno de potasio (RIK) de un cultivo de tulipán.



ANEXO 7 Resumen de los análisis de varianza aplicados a los datos de producción de materia seca (g MS/m²) de bulbos, parte aérea, raíces y flores.

Parte Vegetal	Días desde la plantación	Valor de F entre tratamientos	Valor de P entre tratamientos
Bulbos	97	1,76	0,230
	112	0,65	0,645
	126	0,65	0,645
	140	1,80	0,222
	153	1,72	0,237
	168	0,44	0,777
	182	0,51	0,729
	196	0,66	0,635
Parte aérea	97	0,83	0,541
	112	1,89	0,205
	126	1,19	0,386
	140	0,88	0,516
	153	1,68	0,247
	168	3,10	0,081
	182	0,50	0,738
	196	1,71	0,241
Raíces	97	0,41	0,800
	112	0,27	0,890
	126	2,25	0,152
	140	0,69	0,617
	153	0,67	0,631
	168	1,62	0,259
	182	0,27	0,890
	196	0,81	0,555
Flores	126	1,27	0,359
	140	1,88	0,207

ANEXO 8 Resumen de los datos de análisis de varianza aplicados a los datos de porcentaje de potasio (%K) de bulbos, parte aérea, raíces y flores.

Parte Vegetal	Días desde la plantación	Valor de F entre tratamientos	Valor de P entre tratamientos
Bulbos	97	2,42	0,134
	112	0,87	0,522
	126	1,84	0,214
	140	2,97	0,089
	153	0,14	0,960
	168	0,15	0,956
	182	0,36	0,831
Parte aérea	196	1,09	0,424
	97	1,51	0,288
	112	0,20	0,932
	126	0,40	0,803
	140	2,28	0,149
	153	2,87	0,096
	168	1,63	0,259
Raíces	182	2,44	0,132
	196	1,85	0,213
	97	0,17	0,948
	112	4,14	0,042
	126	0,31	0,864
	140	0,15	0,956
	153	2,53	0,123
Flores	168	1,06	0,434
	182	0,42	0,794
	196	0,29	0,879
Flores	126	2,19	0,161
	140	1,86	0,211

ANEXO 9 Resumen de los datos de análisis de varianza aplicados a los datos de porcentaje de materia seca (%MS) de bulbos, parte aérea, raíces y flores.

Parte Vegetal	Días desde la plantación	Valor de F entre tratamientos	Valor de P entre tratamientos
Bulbos	97	0,69	0,618
	112	0,09	0,983
	126	4,06	0,044
	140	0,56	0,698
	153	0,52	0,727
	168	1,67	0,248
	182	0,23	0,916
Parte aérea	196	0,73	0,593
	97	0,38	0,815
	112	0,77	0,575
	126	0,79	0,562
	140	0,50	0,736
	153	0,50	0,735
	168	1,73	0,235
Raíces	182	0,13	0,967
	196	0,34	0,846
	97	1,70	0,243
	112	1,11	0,415
	126	0,22	0,918
	140	0,42	0,789
	153	0,83	0,541
Flores	168	0,63	0,653
	182	1,42	0,309
	196	1,42	0,309
Flores	126	0,29	0,087
	140	1,16	0,399

ANEXO 10 Resumen de los datos de análisis de varianza aplicados a los datos de absorción de potasio (g K/m²) de bulbos, parte aérea, raíces y flores.

Parte Vegetal	Días desde la plantación	Valor de F entre tratamientos	Valor de P entre tratamientos
Bulbos	97	65,67	0
	112	0,30	0,871
	126	3,01	0,087
	140	0,48	0,750
	153	0,56	0,700
	168	3,15	0,078
	182	0,15	0,956
Parte aérea	196	0,70	0,612
	97	1,72	0,239
	112	0,33	0,854
	126	1,29	0,351
	140	1,16	0,396
	153	0,65	0,641
	168	2,73	0,106
Raíces	182	1,32	0,343
	196	2,75	0,104
	97	0,13	0,966
	112	2,80	0,100
	126	0,32	0,857
	140	0,26	0,893
	153	2,77	0,103
Flores	168	1,01	0,455
	182	0,34	0,845
	196	0,46	0,763
Flores	126	1,58	0,269
	140	1,05	0,440

ANEXO 11 Resumen de los análisis de varianza aplicados a los datos de requerimiento interno de potasio (RIK).

Días desde la plantación	Valor de F entre tratamientos	Valor de P entre tratamientos
97	8,17	0,006
112	0,32	0,854
126	2,91	0,093
126 ¹	3,16	0,078
140	1,44	0,305
140 ¹	1,42	0,310
153	1,13	0,408
168	0,68	0,625
182	1,04	0,445
196	8,17	0,006

¹ Este dato incluye las flores.

ANEXO 12 Resumen de los análisis de varianza aplicados a los datos de humedad de cosecha (HC), índice de cosecha (IC) y calibre de bulbos.

Parámetro	Días desde la plantación	Valor de F entre tratamientos	Valor de P entre tratamientos
Humedad de cosecha	196	0,64	0,652
Índice de cosecha	182	0,82	0,547
Calibre de bulbos	196	0,39	0,811
	196	2,50	0,126