



**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA**  
**DEPARTAMENTO DE PRODUCCION VEGETAL**

**Crecimiento y desarrollo en tomate Platense**  
**(*Lycopersicon esculentum* Mill.):**  
**análisis del efecto de la nutrición mineral**

Memoria presentada por Mario Néstor Clozza  
para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo  
Valencia, mayo de 2010





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ROSA MARIA BELDA NAVARRO, PROFESORA TITULAR DE UNIVERSIDAD EN EL AREA DE FISILOGIA VEGETAL EN LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRONOMOS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, ESPAÑA, Y MARIA ELENA OTEGUI, PROFESORA TITULAR DE LA CATEDRA DE PRODUCCION VEGETAL DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, ARGENTINA,

HACEN CONSTAR: Que la memoria de Tesis Doctoral titulada "CRECIMIENTO Y DESARROLLO EN TOMATE PLATENSE (*Lycopersicon esculentum* Mill.): ANALISIS DEL EFECTO DE LA NUTRICION MINERAL", que presenta D. Mario Néstor Clozza para aspirar al Grado de Doctor Ingeniero Agrónomo, ha sido realizada bajo su dirección, y autorizan su presentación.

Y para que conste, expiden la presente en Valencia, a veinticinco de mayo de dos mil diez.

Rosa María Belda Navarro

María Elena Otegui



## **Agradecimientos**

A mis directoras, Dra. Rosa María Belda Navarro y Dra. María Elena Otegui, un sincero reconocimiento por su apoyo y dedicación durante el desarrollo del proyecto y la escritura final de esta Memoria.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora por haberme ofrecido esta posibilidad de formación de posgrado, y a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires por haberme brindado los recursos para llevar adelante los experimentos y viajar para la defensa de Tesis. A ambas Instituciones estoy agradecido por permitirme crecer, y a la vez orgulloso de que pertenezcan a la educación pública universitaria de Argentina.

A la Universidad Politécnica de Valencia por haberme aceptado como alumno y facilitado toda tramitación y mi estancia en España durante la lectura de esta Tesis.

Al Ing. Agr. Fernando Vilella, Director del Programa de Agronegocios y Alimentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, quien me apoyó y alentó desde el inicio de este posgrado.

A la Dra. Marta Divo de Sesar, Directora del Laboratorio de Propagación de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, por su colaboración con las determinaciones en laboratorio y el análisis de los resultados.

A mis tesistas de grado, hoy Ingenieros Agrónomos Javier Grimau, Tomás Oliva Maraggi y Agustín Lizzi, por los tiempos compartidos y su ayuda durante la conducción de los experimentos y la recolección de los datos.

Al Ing. Agr. Ernesto Giardina de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, por compartir varios proyectos ajenos a éste, y sin embargo comprometerse con el mismo a través de su amistad y contención.

Quiero por último, además de expresarles mi mayor agradecimiento, dedicar esta tesis a mi hermosa familia, Alejandra, Micaela y Nicolás, con quienes nos permitimos compartir y disfrutar nuestros logros personales.

Vaya también la dedicatoria a la memoria de mi nonno Gelindo, quien sin duda marcó en mí la pasión por esta profesión, y a quien tantas veces recordé durante esta tesis a través del aroma y sabor del tomate Platense que me remitían a mi infancia.



## **Publicaciones y Tesis de Grado derivadas de la Tesis Doctoral**

### **Artículos**

Clozza, M.; Grimau, J.; Otegui, M.; de los Ríos, A. 2007. “Efecto de la nutrición mineral sobre el crecimiento y el rendimiento en tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Platense)”. Actas del 30º Congreso Argentino de Horticultura y 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Giardina, E.; Ciarlo, E.; Ciampitti, I.; Clozza, M. 2007. “Calcio como elemento esencial en la biología del suelo: análisis del rendimiento en tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Platense)”. Actas del 30º Congreso Argentino de Horticultura y 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

### **Tesis de Grado para acceder al título de Ingeniero Agrónomo**

#### **Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires**

Grimau, J. 2006. “Efecto de la nutrición mineral sobre el crecimiento y el rendimiento en tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv Platense)”. Director: Ing. Agr. Mario N. Clozza.

Oliva Maraggi, T. 2007. “Comportamiento del tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv Platense) frente a la nutrición mineral: efectos sobre el desarrollo y el rendimiento”. Director: Ing. Agr. Mario N. Clozza.

Lizzi, A. 2007. “Influencia de la nutrición mineral en el crecimiento y el rendimiento de tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv Platense)”. Director: Ing. Agr. Mario N. Clozza.

Posado, V. 2010. “Calidad de semillas en tomate platense (*Lycopersicon esculentum* Mill., cultivar Platense): efecto de la nutrición mineral”. Director: Ing. Agr. Mario N. Clozza.





## Resumen

Existen tres procesos que vinculan la producción de biomasa con el rendimiento: la generación de la estructura del dosel, responsable de la eficiencia de intercepción de radiación ( $e_i$ ), resumido en el índice de área foliar (IAF); la utilización de la radiación interceptada en la producción de biomasa, o eficiencia en el uso de la radiación (EUR); y la partición de la biomasa entre las diferentes estructuras vegetativas y reproductivas, o índice de cosecha (IC). En los experimentos realizados para la presente tesis se estudió cómo distintos niveles relativos de disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en distintas etapas del ciclo de un cultivo de tomate Platense modifican estos procesos. Los objetivos fijados fueron: (i) evaluar el efecto de la nutrición mineral sobre su crecimiento y desarrollo; (ii) determinar la incidencia de la nutrición mineral y la posición del racimo floral/fructífero dentro de la planta en el cuajado de frutos; y (iii) desarrollar modelos de predicción no destructivos para obtener los parámetros necesarios para establecer las relaciones citadas en el primer objetivo.

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) difirió entre tratamientos como consecuencia de sus IAF,  $e_i$  y EUR generados en cada situación nutricional. La  $e_i$  indicó no sólo el hábito planófilo de este cultivar sino también una filotaxis particular. La EUR difirió entre tratamientos, si bien no se vio afectada ante la deficiencia de nitrógeno. Los valores hallados, relativamente elevados para el desarrollo de la planta en contraestación, se relacionan con los altos contenidos de clorofila medidos en hojas durante el período de producción. El contenido de clorofila total difirió en cada tratamiento entre las hojas jóvenes y las hojas maduras, siendo mayor en la medida que era mayor la disponibilidad de nitrógeno, si bien no existieron diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo. La medición del contenido de polifenoles en hojas permitió identificar la existencia de un déficit de nitrógeno, asociado tanto al tratamiento como a la edad de las hojas, pudiendo explicarse más ajustadamente a través de la relación clorofila/polifenoles. El IC difirió entre tratamientos. Un alto contenido relativo de nitrógeno produjo menor IC, aumentando éste al incrementarse la disponibilidad de potasio como consecuencia del mayor establecimiento de frutos. Los tratamientos con mayor disponibilidad de fósforo presentaron mayor rendimiento, si bien no se evidenció esta diferencia en sus IC. A diferencia de la TCC, la tasa de crecimiento del fruto (TCF) se mantuvo constante durante

el período de cosecha, ajustándose así el rendimiento acumulado por planta a una función lineal.

El inicio de cosecha fue similar para los racimos 1 y 2. En una primera etapa el ritmo de cosecha fue semejante tanto en el número de frutos cosechados por racimo como en el peso medio de los mismos. La extracción de frutos maduros en el racimo 1 disminuyó la tasa fotosintética de su fuente y así los asimilados disponibles. En una segunda etapa, los dos racimos se comportaron de manera diferente, principalmente en cuanto al número de frutos cosechados, duplicándose éste para el racimo 2. A medida que los frutos fueron extraídos del racimo 2 se restableció el ritmo de cosecha en el racimo 1. En la primera etapa se registró mayor peso medio de los frutos en ambos racimos debido a la mayor fuerza del sumidero. No se registraron diferencias en la cantidad de sólidos solubles totales en frutos de distintos racimos para un mismo nivel de nitrógeno, aunque sí ante distinta disponibilidad de este elemento.

Se obtuvieron funciones de ajuste mediante regresiones lineales para estimar el área foliar, el contenido de N y de clorofila foliar, y el peso del fruto. Estos modelos de predicción, no destructivos y rápidos, fueron utilizados para realizar el seguimiento de las variables que describen el crecimiento y desarrollo a lo largo del ciclo del cultivo en tomate Platense.

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum* Mill., tomate Platense, crecimiento, desarrollo, nutrición mineral, nitrógeno, fósforo, potasio, posición del racimo, modelos de predicción

## Summary

Three processes link total biomass production of a crop with its reproductive yield: generation of a canopy responsible of light interception efficiency ( $e_i$ ), summarized in the leaf area index (LAI); use of light in the photosynthetic process for carbon fixation and overall biomass production (RUE: radiation use efficiency); and partitioning of this biomass among different vegetative and harvestable reproductive organs (HI: harvest index). Experiments were developed for analyzing how nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) affect these processes along the cycle of a local Argentine variety of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) called Platense. The objectives were (i) to evaluate the effect of mineral nutrition on crop growth and development, (ii) to establish the incidence of these nutrients and the relative position of flower/fruit trusses within the plant on fruit set, and (iii) to develop morphometric, non-destructive predictive models for aspects considered in (i). Treatments affected crop growth rate (CGR) because of their effects of LAI generation (i.e., on  $e_i$ ) and biomass production (i.e., on RUE). Differences in  $e_i$  captured the planophile habit of this variety as well as its particular phyllotaxis. Nitrogen deficiency did not affect RUE, and its high level for an off-season crop was accompanied by high leaf chlorophyll contents registered along the production period. Within each nutrition treatment, this content differed between young and mature leaves, and tended to increase with enhanced N availability (not significant). Polyphenol levels in leaves, however, revealed N deficiencies related to leaf age, which could be explained more accurately by the chlorophyll/polyphenol relationship. The HI did not differ among treatments, but it tended to decrease when relative N content increase. The opposite was observed for enhanced K availability, because of improved fruit set. Enhanced P offer caused the largest fruit yields, but had no effect on HI. In contrast to CGR, the rate of fruit growth (FGR) remained constant along the harvest period. This trend was represented by a linear evolution of cumulative fruit yield.

The start of fruit harvest was similar for trusses 1 and 2. Two phases were detected in harvest rate, early and late. The former was characterized by (i) a constant number of harvested fruits per truss and similar mean fruit weight, and (ii) a feedback effect of fruit harvest from truss 1 on the photosynthetic activity of the related leaf source, with the concomitant decline in assimilate availability. In the latter, the number of fruits harvested from truss 2 increased two-fold. Production from truss 1 was reestablished when fruit

## Summary

---

collection from truss 2 increased. Mean fruit weight from both trusses was larger in phase 1 than in phase 2, evidence of enhanced sink strength. N offer affected the total amount of soluble solids, but no difference was detected in this trait among fruits from different trusses grown at a given N level.

Allometric linear models were established for the estimation of leaf area, N and chlorophyll contents, and fruit weight. These predictive, non-destructive models were used for a fast survey of growth and development variables along the cycle of Platense tomato plants.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum* Mill., tomato, Platense variety, growth, development, mineral nutrition, nitrogen, phosphorus, potassium, truss position, predictive models

## Resum

Hi ha tres processos que vinculen la producció de biomassa amb el rendiment: la generació de l'estructura del dosser, responsable de l'eficiència d'intercepció de radiació ( $e_j$ ), resumit en l'índex d'àrea foliar (IAF); la utilització de la radiació interceptada en la producció de biomassa, o eficiència en l'ús de la radiació (EUR); i la partició de la biomassa entre les diferents estructures vegetatives i reproductives, o índex de collita (IC). En els experiments realitzats per a la present tesi es va estudiar com distints nivells relatius de disponibilitat de nitrogen, fòsfor i potassi en distintes etapes del cicle d'un cultiu de tomaca Platense modifiquen estos processos. Els objectius fixats van ser: (i) avaluar l'efecte de la nutrició mineral sobre el creixement i desenvolupament de la tomaca Platense; (ii) determinar la incidència de la nutrició mineral i la posició del raïm floral/fructífer dins de la planta en el quallat de fruits; i (iii) desenvolupar models de predicció no destructius per a obtindre els paràmetres necessaris per a establir les relacions esmentades en el primer objectiu.

La taxa de creixement del cultiu (TCC) va diferir entre tractaments com a conseqüència dels IAF,  $e_j$  i EUR generats en cada situació nutricional. L'  $e_j$  va indicar no sols l'hàbit planòfil d'este cultivar sinó també una fil·lotaxi particular. L'EUR va diferir entre tractaments, si bé no es va veure afectada per la deficiència de nitrogen. Els valors trobats, relativament elevats per al desenvolupament de la planta en contraestació, es relacionen amb els alts continguts de clorofil·la mesurats en fulles durant el període de producció. El contingut de clorofil·la total va diferir en cada tractament entre les fulles joves i les fulles madures, sent major en la mesura que era major la disponibilitat de nitrogen, si bé no van existir diferències entre tractaments dins de cada grup. El mesurament del contingut de polifenols en fulles va permetre identificar l'existència d'un dèficit de nitrogen, associat tant al tractament com a l'edat de les fulles, podent explicar-se més ajustadament a través de la relació clorofil·la/polifenols. L'IC va diferir entre tractaments. Un alt contingut relatiu de nitrogen va produir menor IC, augmentant este en incrementar-se la disponibilitat de potassi com a conseqüència del major quallat de fruits. Els tractaments amb major disponibilitat de fòsfor van presentar major rendiment, si bé no es va evidenciar esta diferència en els seus IC. A diferència de la TCC, la taxa de

creixement del fruit (TCF) es va mantindre constant durant el període de collita, ajustant-se així el rendiment acumulat per planta a una funció lineal.

L'inici de collita va ser semblant per als raïms 1 i 2. En una primera etapa el ritme de collita va ser semblant tant en el nombre de fruits collits com en el pes mitjà del fruit en ambdós raïms. L'extracció de fruits madurs en el raïm 1 va disminuir la taxa fotosintètica de la seua font i així els assimilats disponibles. En una segona etapa, els dos raïms es van comportar de manera diferent, principalment quant al nombre de fruits collits, duplicant-se este per al raïm 2. A mesura que els fruits van ser extrets del raïm 2 es va restablir el ritme de collita en el raïm 1. En la primera etapa es va registrar major pes mitjà dels fruits en ambdós raïms a causa de la major força de l'embornal. No es van registrar diferències en la quantitat de sòlids solubles totals en fruits de distints raïms per a un mateix nivell de nitrogen, encara que sí quan la disponibilitat de nitrogen variava.

Es van obtindre funcions d'ajust per mitjà de regressions lineals per a estimar l'àrea foliar, el contingut de nitrogen i de clorofil-la foliar, i el pes del fruit. Estos models de predicció, no destructius i ràpids, van ser utilitzats per a realitzar el seguiment dels paràmetres que descriuen el creixement i desenvolupament al llarg del cicle del cultiu en tomaca Platense.

**Paraules clau:** *Lycopersicon esculentum* Mill., tomaca Platense, creixement, desenvolupament, nutrició mineral, nitrogen, fòsfor, potassi, posició del raïm, models de predicció







# ÍNDICE



## ÍNDICE GENERAL

| Contenido   | Página    |
|---|-----------|
| <b>SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS</b>   |           |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>   |           |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>  |           |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Generalidades</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.2. Modelo ecofisiológico general</b>   | <b>4</b>  |
| 1.2.1. Captura de luz y producción de biomasa   | 5         |
| 1.2.2. Partición de biomasa y rendimiento   | 7         |
| 1.2.3. Determinación del número de frutos y su crecimiento  | 9         |
| 1.2.4. Efecto de la nutrición mineral sobre los determinantes ecofisiológicos del<br>rendimiento y la calidad de los frutos | 10        |
| <b>1.3 Características de la planta de tomate Platense y manejo del cultivo</b>   | <b>10</b> |
| <b>2. OBJETIVOS</b>   | <b>13</b> |
| <b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>  | <b>19</b> |
| <b>3.1. Experimentos</b>  | <b>21</b> |
| 3.1.1. Conducción General de los Experimentos   | 21        |
| 3.1.2. Experimentos 1 y 2   | 22        |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.3. Experimento 3   | 23 |
| <b>3.2. Mediciones</b>   | 24 |
| <b>3.3. Análisis estadístico</b>   | 24 |
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>   | 27 |
| <b>4.1. Desarrollo de modelos alométricos para estimación del crecimiento en tomate Platense</b> | 29 |
| 4.1.1. Introducción  | 29 |
| 4.1.2. Metodología específica  | 31 |
| 4.1.2.1. Estimación del área foliar  | 31 |
| 4.1.2.2. Estimación del contenido de N foliar y de clorofila: uso del SPAD                       | 31 |
| 4.1.2.3. Estimación del Peso del fruto   | 32 |
| 4.1.3. Resultados  | 33 |
| 4.1.3.1. Estimación del Área foliar  | 33 |
| 4.1.3.2. Estimación del contenido de N foliar y de clorofila: uso del SPAD                       | 34 |
| 4.1.3.3. Estimación del Peso del fruto   | 35 |
| 4.1.4. Discusión   | 36 |
| <b>4.2. Captura de luz y producción de biomasa</b>   | 39 |
| 4.2.1. Introducción  | 39 |
| 4.2.2. Metodología específica  | 43 |
| 4.2.2.1. Radiación solar y temperatura del aire  | 43 |
| 4.2.2.2. Área foliar   | 43 |
| 4.2.2.3. Área foliar específica  | 43 |
| 4.2.2.4. Radiación interceptada por el dosel y eficiencia de intercepción                        | 44 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.2.5. <i>Producción de biomasa y eficiencia en el uso de la radiación</i>        | 44        |
| 4.2.2.6. <i>Contenido de clorofila</i>  | 45        |
| 4.2.2.7. <i>Polifenoles</i>   | 45        |
| 4.2.3. Resultados   | 46        |
| 4.2.3.1. <i>Desarrollo foliar</i>   | 46        |
| 4.2.3.1.1. <i>Área foliar y eficiencia de intercepción</i>                          | 46        |
| 4.2.3.1.2. <i>SPAD y contenido de clorofila</i>                                     | 51        |
| 4.2.3.1.3. <i>Área foliar específica</i>  | 54        |
| 4.2.3.1.4. <i>Contenido de polifenoles en hoja</i>                                  | 54        |
| 4.2.3.2. <i>Producción de biomasa y eficiencia en el uso de la radiación</i>        | 56        |
| 4.2.4. Discusión  | 58        |
| <b>4.3. Partición de biomasa y rendimiento</b>                                      | <b>65</b> |
| 4.3.1. Introducción   | 65        |
| 4.3.2. Metodología específica   | 68        |
| 4.3.2.1. <i>Muestreos</i>   | 68        |
| 4.3.2.2. <i>Tiempo térmico (TT)</i>   | 68        |
| 4.3.2.3. <i>Rendimiento e Índice de Cosecha</i>                                     | 69        |
| 4.3.2.4. <i>Tasa de crecimiento del cultivo y tasa de crecimiento de los frutos</i> | 69        |
| 4.3.3. Resultados   | 70        |
| 4.3.3.1. <i>Partición de Biomasa</i>  | 70        |
| 4.3.3.1.1. <i>Índice de cosecha</i>   | 70        |
| 4.3.3.1.2. <i>Generación de tallos, hojas y frutos</i>                              | 71        |
| 4.3.3.1.3. <i>Tasa de crecimiento</i>   | 71        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.3.3.2. <i>Rendimiento</i>                                    | 72         |
| 4.3.3.2.1. <i>Evolución del rendimiento</i>                    | 72         |
| 4.3.3.2.2 <i>Partición del rendimiento</i>                     | 73         |
| 4.3.4. <i>Discusión</i>  | 74         |
| <b>4.4. Determinación del número de frutos y su calidad</b>    | <b>81</b>  |
| 4.4.1. <i>Introducción</i>                                     | 81         |
| 4.4.2. <i>Metodología específica</i>                           | 86         |
| 4.4.2.1. <i>Componentes del rendimiento</i>                    | 86         |
| 4.4.2.2. <i>Índice de Cuajado</i>                              | 86         |
| 4.4.2.3. <i>Sólidos Solubles Totales</i>                       | 86         |
| 4.4.2.4. <i>Polifenoles</i>                                    | 87         |
| 4.4.2.5. <i>Antocianos</i>                                     | 87         |
| 4.4.3. <i>Resultados</i>                                       | 87         |
| 4.4.3.1. <i>Componentes del rendimiento</i>                    | 87         |
| 4.4.3.2. <i>Ritmo de desarrollo de los frutos</i>              | 89         |
| 4.4.3.3. <i>Contenido de sólidos solubles en fruto</i>         | 90         |
| 4.4.3.4. <i>Contenido de polifenoles y antocianos en fruto</i> | 91         |
| 4.4.4. <i>Discusión</i>  | 92         |
| <b>5. CONCLUSIONES</b>   | <b>97</b>  |
| <b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>   | <b>103</b> |
| <b>7. ANEXOS</b>   | <b>i</b>   |
| <b>ANEXO I. SOLUCIONES NUTRITIVAS</b>                          | <b>iii</b> |

|  |      |
|--|------|
| Tabla I.1. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento NPK     | iv   |
| Tabla I.2. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento NPK     | v    |
| Tabla I.3. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento NpK     | vi   |
| Tabla I.4. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento Npk     | vii  |
| Tabla I.5. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento nPK     | viii |
| Tabla I.6. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento nPk     | ix   |
| Tabla I.7. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento npK     | x    |
| Tabla I.8. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento npk     | xi   |
| Tabla I.9. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento N200    | xii  |
| Tabla I.10. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento N100   | xiii |
| Tabla I.11. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento N50    | xiv  |
| Tabla I.12. Solución nutritiva correspondiente a los micronutrientes | xv   |





## SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

| <u>Sigla/abreviatura</u> | <u>Significado</u>                         | <u>Unidad</u>  |
|--------------------------|--|--|
| AF                       | área foliar                                | cm <sup>2</sup>  |
| AFE                      | área foliar específica                     | cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>                                  |
| BT                       | Biomasa aérea total                        | g m <sup>-2</sup>  |
| CC                       | comienzo de cosecha                        | ---  |
| CF                       | comienzo de floración                      | ---  |
| DAF                      | duración del área foliar                   | d  |
| Ddt                      | días desde el trasplante                   | d  |
| DM                       | diámetro mayor                             | mm   |
| DMe                      | diámetro medio                             | mm   |
| e <sub>i</sub>           | eficiencia de intercepción de la radiación | MJ <sub>interceptado</sub> MJ <sup>-1</sup> <sub>incidente</sub> |
| EUR                      | eficiencia en el uso de la radiación       | g MJ <sup>-1</sup> <sub>interceptado</sub>                       |
| FC                       | fin de cosecha                             | ---  |
| HJ                       | hojas jóvenes                              | ---  |

## Indice

---

|       |  |  |
|-------|--|--|
| HM    | Hojas maduras                                    | ---  |
| HV    | hojas viejas                                     | ---  |
| $I_0$ | radiación incidente sobre el dosel               | MJ m <sup>-2</sup>                               |
| IAF   | índice de área foliar                            | m <sup>2</sup> de hojas m <sup>-2</sup> de suelo |
| $I_b$ | radiación incidente debajo del dosel             | MJ m <sup>-2</sup>                               |
| IC    | índice de cosecha                                | ---  |
| IP    | índice de partición                              | ---  |
| K     | coeficiente de atenuación lumínica               | ---  |
| L     | largo máximo de la hoja                          | cm   |
| PAR   | radiación fotosintéticamente activa              | MJ m <sup>-2</sup>                               |
| PARi  | radiación fotosintéticamente activa interceptada | MJ m <sup>-2</sup>                               |
| PF    | peso fresco                                      | g  |
| Tb    | Temperatura base de desarrollo                   | °C   |
| TCC   | tasa de crecimiento del cultivo                  | g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>                |
| TCF   | Tasa de crecimiento del fruto                    | g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>                |

|      |                          |     |
|------|--------------------------|-----|
| Tmáx | Temperatura máxima       | °C  |
| Tmd  | temperatura media diaria | °C  |
| Tmín | Temperatura mínima       | °C  |
| TT   | tiempo térmico           | °Cd |



**ÍNDICE DE TABLAS**

|            |   | Página |
|------------|---|--------|
| Tabla 4.1. | Área foliar y sus componentes en diferentes momentos del ciclo  | 50     |
| Tabla 4.2. | Lecturas de SPAD en hojas de distinta edad y en diferentes momentos del ciclo                                       | 52     |
| Tabla 4.3. | Contenidos de Clorofila y Polifenoles, y Área foliar específica en hojas de diferente fase de desarrollo            | 55     |
| Tabla 4.4. | Radiación incidente e interceptada, producción de biomasa, eficiencia en el uso de la radiación e índice de cosecha | 57     |
| Tabla 4.5. | Tasas de crecimiento del cultivo y de los frutos  | 72     |
| Tabla 4.6. | Componentes del rendimiento   | 88     |
| Tabla 4.7. | Partición del rendimiento   | 89     |
| Tabla 4.8. | Contenido de polifenoles y antocianos en fruto  | 92     |



**ÍNDICE DE FIGURAS**

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 1.1. Modelo ecofisiológico de crecimiento y partición de biomasa para un cultivo hortícola indeterminado  | 5      |
| Figura 4.1. Relación entre el área foliar y el largo de la hoja para tomate Platense   | 33     |
| Figura 4.2. Relación entre el contenido de nitrógeno en la hoja y la lectura de SPAD   | 34     |
| Figura 4.3. Relación entre contenido de clorofila en la hoja y la lectura de SPAD  | 35     |
| Figura 4.4. Relación entre peso del fruto de tomate y su diámetro medio  | 35     |
| Figura 4.5. Relación entre peso del fruto de tomate y su diámetro mayor  | 36     |
| Figura 4.6. Evolución del índice de área foliar para los dos niveles de nutrición nitrogenada: tratamientos con mayor (N+) y menor (N-) provisión de nitrógeno | 46     |
| Figura 4.7. Número de hojas por planta para los dos niveles de nutrición nitrogenada en los tres estadios de desarrollo del cultivo                            | 47     |
| Figura 4.8. Superficie foliar media para los dos niveles de nutrición nitrogenada en los tres estadios de desarrollo del cultivo                               | 47     |
| Figura 4.9. Número de hojas por planta para los distintos tratamientos   | 48     |
| Figura 4.10. Evolución del índice de área foliar para los distintos tratamientos   | 49     |
| Figura 4.11. Evolución de la eficiencia de intercepción para los distintos tratamientos  | 51     |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Figura 4.12. | Evolución del contenido de clorofila en hojas jóvenes, maduras y viejas para los distintos niveles de nitrógeno | 53 |
| Figura 4.13. | Respuesta de la eficiencia de intercepción al índice de área foliar   | 59 |
| Figura 4.14. | Evolución del IAF y el rendimiento acumulado  | 71 |
| Figura 4.15. | Rendimiento acumulado por planta (expresión exponencial)  | 72 |
| Figura 4.16. | Rendimiento acumulado por planta (expresión lineal)   | 73 |
| Figura 4.17. | Evolución del rendimiento acumulado en el fruto por racimo  | 74 |
| Figura 4.18. | Ritmo de crecimiento de los frutos en cada racimo   | 90 |
| Figura 4.19. | Contenido de sólidos solubles en fruto para distintos tratamientos de nitrógeno                                 | 91 |



# **1. INTRODUCCIÓN**



## 1.1. GENERALIDADES

La producción argentina de tomate para consumo en fresco ha sufrido profundos cambios, originados en la aparición de nuevo material genético. Tradicionalmente, durante el período de 1940 al de 1980, el tomate destinado a ese fin fue el denominado tomate Platense, producto típico de la región del Río de la Plata, cultivar que presentaba fruto grande, achatado, de sabor y aroma intensos, ligeramente ácido (Nuez, 1995). Diseñados para una producción más intensiva y una demanda masiva, la difusión de nuevos tomates hasta los modernos "larga vida" es un ejemplo de cómo evolucionó el mejoramiento genético en la agricultura. Una creciente demanda más segmentada, una mayor conciencia de lo que significa la pérdida de materiales genéticos con historia, adaptados a determinados climas y suelos, y la perseverancia de productores y técnicos, nos pone ante el desafío del rescate y la valorización de estos cultivares. La realidad productiva del país, los cambios en la agricultura intensiva, en la tecnología aplicada, en el manejo de los recursos y en los hábitos de consumo obligan a estudiar nuevos impactos y problemáticas y, consecuentemente, otras tácticas y estrategias de manejo en relación al tomate Platense.

Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en tomate para un sistema de producción específico son descritos por varios autores (Mahmoud y George, 1984; Wien y Minotti, 1988; Nuez, 1995), pero en general la información no se encuentra organizada en un marco conceptual ecofisiológico que permita su análisis funcional y su aplicación a diferentes condiciones de crecimiento (Scholberg et al, 2000), ni incluye otros nutrientes igualmente importantes. A menudo, solamente se registra el rendimiento en fruto, y los estudios del crecimiento están restringidos a la cosecha final (Heuvelink, 1996; Ho, 1996). Aún en trabajos que enfatizan en la modelización y validación, los datos de la

dinámica del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate no son completos (Heuvelink, 1996).

## 1.2. MODELO ECOFISIOLÓGICO GENERAL

La producción de biomasa de los cultivos resulta de la acumulación de carbono durante el crecimiento. En muchas situaciones los principales factores que afectan el rendimiento en materia seca son la absorción de la radiación solar y la eficiencia de utilización de esa energía. Sin limitaciones hídrico-nutricionales, la producción de biomasa es producto del proceso de fotosíntesis, cuya fuerza motriz es la radiación solar interceptada por el dosel, principalmente por las hojas (Loomis y Connor, 1998).

Se puede definir tres grandes procesos que vinculan la producción de biomasa con el rendimiento: (i) generación de la estructura del dosel, responsable de la eficiencia de interceptación de radiación ( $e_i$ ), generalmente resumido en el índice de área foliar ( $IAF = m^2$  de hojas  $m^{-2}$  de suelo); (ii) utilización de la radiación interceptada en la producción de biomasa a través del proceso de fotosíntesis, o eficiencia en el uso de la radiación ( $EUR = \text{biomasa producida radiación solar interceptada}^{-1}$ ); y (iii) partición de la biomasa entre las diferentes estructuras que se encuentran en activo crecimiento; durante el período de llenado de las estructuras reproductivas la partición recibe el nombre de índice de cosecha ( $IC = \text{biomasa de frutos biomasa total aérea}^{-1}$ ) (Maddonni y Otegui, 1996; Loomis y Connor, 1998). Estos procesos generales se esquematizan en la Fig. 1.1. en un modelo simple para un cultivo indeterminado (Heuvelink, 1996),

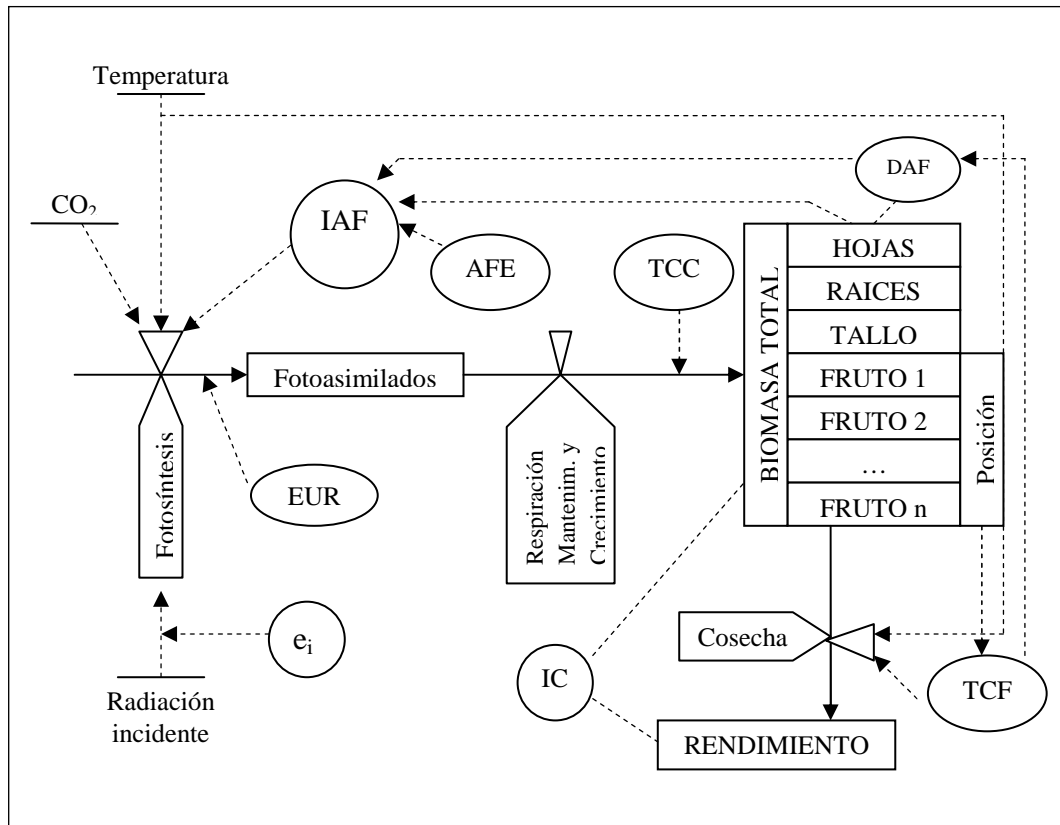


Figura 1.1: Modelo ecofisiológico de crecimiento y partición de biomasa para un cultivo hortícola indeterminado (Adaptado de Heuvelink, 1996).

**AFE:** área foliar específica; **DAF:** duración del área foliar; **e<sub>i</sub>** : eficiencia de interceptación de la radiación; **EUR:** eficiencia en el uso de la radiación; **IAF:** índice de área foliar; **IC:** índice de cosecha; **TCC:** tasa de crecimiento del cultivo; **TCF:** tasa de crecimiento del fruto

### 1.2.1. Captura de luz y producción de biomasa

A nivel de cultivo interesa más el crecimiento por unidad de superficie de suelo que el de las plantas individuales, por lo cual se utilizan variables que sintetizan el comportamiento del conjunto más que del individuo. Para describir al dosel, tal variable es el IAF. El IAF aumenta a medida que avanza el ciclo del cultivo y se produce la expansión de sus hojas, incrementando así la capacidad de interceptar radiación solar. Al comienzo la interceptación de radiación aumenta exponencialmente, pero no alcanza valores de importancia ya que el IAF inicial es pequeño. Luego la radiación interceptada continúa

aumentando linealmente hasta que se alcanza suficiente IAF como para interceptar la mayor parte de la radiación incidente, manteniendo esta situación durante cierto tiempo hasta que las hojas senescen (Maddonni y Otegui, 1996). La relación entre la radiación interceptada y el IAF es curvilínea y está descrita por la Ley de Beer (ecuación 1)

$$e_i = 1 - e^{(-k \text{ IAF})} \quad (1)$$

donde  $k$  representa al coeficiente de atenuación lumínica, que difiere entre especies según la inclinación de sus hojas y la forma en que se distribuyen dentro del dosel.

Calculando el área bajo la curva de IAF en función del tiempo, se obtiene la duración del área foliar (DAF,  $d$ ). Si bien la DAF no explica la cantidad de radiación disponible para la fotosíntesis del cultivo, la atenuación de la radiación dentro del dosel, ni la eficiencia en el uso de la radiación disponible, da una idea de la capacidad productiva del mismo. Generalmente una mayor DAF implica una mayor producción de biomasa total (Marschner, 1995).

Si no existen restricciones abióticas ni bióticas, la producción de biomasa del cultivo estará directamente asociada con su capacidad fotosintética, la cual será consecuencia de la evolución de la  $e_i$  a lo largo del ciclo, y de la oferta de radiación fotosintéticamente activa (PAR). Esta relación directa está representada por la eficiencia en el uso de la radiación. La EUR representa la respuesta de la biomasa total (producto) a la radiación interceptada (insumo). Es una expresión de la capacidad que tiene el cultivo de convertir la radiación interceptada en nueva materia seca, la cual se ve reducida ante deficiencias hídricas o nutricionales, como así también cuando las hojas del cultivo están senesciendo

(Sinclair y Muchow, 1999). Para tomate se citan valores de 0,81 a 1,25 g MJ<sup>-1</sup> (Scholberg et al., 2000).

La producción de biomasa describe una función de tipo sigmoideo: aumenta lentamente al principio y adquiere una tasa (derivada de la función) máxima al promediar el ciclo, que se mantiene durante el llenado de los sucesivos frutos, y declina hacia el final del cultivo. El valor máximo de biomasa total aérea acumulada se alcanza así al haber finalizado el llenado efectivo de dichos frutos. A su vez, la ganancia diaria de biomasa por unidad de área de cultivo, denominada Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC, g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), puede estimarse a partir de las eficiencias antes descritas y la oferta de radiación (ecuación 2)

$$TCC = \int PAR * e_i * EUR \quad (2)$$

Una buena disponibilidad de nutrientes en general, y de nitrógeno en particular, genera un mayor crecimiento de las plantas, el cual se explica a través de su efecto sobre la capacidad de la fuente, estando ésta principalmente determinada por el área foliar y su duración (mayor  $e_i$ ), y por los ritmos de fotosíntesis, respiración y síntesis de aminoácidos (mayor EUR) (Guardiola y García Luis, 1990; Marschner, 1995; Sinclair y Muchow, 1999).

### 1.2.2. Partición de biomasa y rendimiento

A lo largo del ciclo del cultivo, el patrón de distribución de asimilados o índice de partición (IP) está estrechamente asociado al patrón de desarrollo, pudiendo ser cuantificado por el cociente entre las tasas de crecimiento de los frutos (TCF) y del cultivo (ecuación 3)

$$IP = TCF TCC^{-1} \quad (3)$$

La acumulación de biomasa en las estructuras reproductivas, que también describe una función de tipo sigmoideo, comienza a partir de la primera floración del cultivo y continúa durante todo su ciclo. Si bien en especies indeterminadas coexiste el crecimiento de los órganos reproductivos y vegetativos, existe evidencia de una jerarquía de sumideros, donde el crecimiento de frutos domina sobre el de tejidos vegetativos, aunque las flores aparecen como pobres competidores bajo situaciones de limitación por asimilados (Heuvelink, 1996).

La partición es controlada por un número de factores que incluyen la provisión de asimilados, el número y tamaño de los sumideros, que compiten entre sí, y su localización en la planta, las conexiones vasculares existentes y el potencial de almacenamiento temporal en las hojas o a lo largo de la vía de transporte de asimilados. Aunque existe considerable información sobre el funcionamiento de procesos individuales en la planta, tales como la fotosíntesis, el metabolismo del almidón, la translocación de nutrientes y la expansión celular, los controles que regulan la partición de asimilados en la planta considerada como sistema integrado no son totalmente conocidos (Guardiola y García Luis, 1990; García Luis y Guardiola, 2008).

El rendimiento puede estar limitado por la capacidad de generar asimilados (limitación por fuente) o por la capacidad de almacenamiento (limitación por sumidero). Estos dos aspectos no son independientes, dado que la actividad de la fuente puede influir en la determinación del tamaño potencial del sumidero, y la demanda de asimilados por los sumideros afectar la actividad de la fuente (Guardiola y García Luis, 1990). La producción de biomasa es, pues, determinante del rendimiento, que responde generalmente de manera estable a las variaciones que se producen en aquella. La relación entre ambos queda descrita por el índice de cosecha. Sin embargo, aunque la producción final de



biomasa se define a través de una serie de relaciones funcionales fuertemente sustentadas en procesos de desarrollo y crecimiento, el índice de cosecha es una relación empírica entre dos variables, y no permite inferir los procesos que gobiernan el rendimiento en cuanto al número de estructuras fijadas (número de frutos por unidad de superficie) y al tamaño de las mismas (peso de frutos) (Loomis y Connor, 1998). En función de estas evidencias, el rendimiento es fuertemente dependiente de la producción de biomasa, por lo que aumentos de esta última debieran traducirse en mejoras del rendimiento. Consecuentemente, es de suma importancia comprender las bases funcionales que gobiernan dicha producción, con el objetivo de adecuar las prácticas de manejo de cada cultivo para maximizarla.

### **1.2.3. Determinación del número de frutos y su crecimiento**

Características como el tamaño, la cercanía a la fuente, y el número y eficacia de las conexiones vasculares, pueden dar a un órgano ventaja competitiva en la captación del carbono fijado (García Luis y Guardiola, 2008). Sin embargo, cuando se consideran los frutos y frente a una situación de competencia por asimilados, tan importante como el tamaño en sí, es el ritmo de crecimiento relativo o tasa de crecimiento del fruto. En este sentido, el orden de crecimiento determinado por la ontogenia y el número de órganos creciendo simultáneamente constituyen aspectos críticos en la ventaja relativa de cada órgano como sumidero de asimilados (Agustí, 2008).

La diferenciación y el desarrollo de las flores constituyen etapas previas a la fructificación y, en consecuencia, todos los factores que afectan a la floración pueden influir sobre la precocidad, rendimiento y calidad de los frutos. La iniciación de las flores se retrasa cuando existen deficiencias en la nutrición mineral de la planta, particularmente de nitrógeno, fósforo o potasio, retraso que podría deberse más a un retraso general del

crecimiento y desarrollo de la planta que a un efecto específico sobre la floración. Estas deficiencias pueden provocar incluso el aborto de las flores (Heuvelink, 1996). La aplicación de auxinas a flores de tomate en condiciones de bajas temperaturas no aumenta el establecimiento de frutos, obteniéndose un limitado número de frutos de mayor tamaño y rápido crecimiento (Abad y Monteiro, 1989).

#### **1.2.4. Efecto de la nutrición mineral sobre los determinantes ecofisiológicos del rendimiento y la calidad de los frutos**

En líneas generales (Marschner, 1995; Ho, 1996) se establece que (i) niveles subóptimos de nitrógeno reducen el crecimiento vegetativo, particularmente de hojas, más que el reproductivo, (ii) un bajo suministro de potasio reduce el crecimiento de las plantas y el establecimiento de los frutos, (iii) la deficiencia de fósforo puede reducir el crecimiento reproductivo por su posible efecto en la reducción del transporte de citoquininas, y (iv) una elevada preponderancia transpiratoria de las hojas sobre la de los frutos ante un déficit alto de saturación del aire en vapor de agua (Martinez y Roca, 2001; Martínez et al, 2001; Roca y Martínez, 2001) y un alto contenido salino que origine menor absorción y distribución de calcio hacia el fruto, incidiría en la manifestación de la enfermedad fisiogénica conocida como podredumbre apical o *blossom-end rot* (Belda y Ho, 1993; Ho et al., 1993; Belda et al., 1996). Sin embargo, esta información no ha sido asociada a los efectos correspondientes sobre la producción de asimilados y biomasa total, y son muy escasos para este cultivo los datos sobre la dinámica de producción y distribución de materia seca.

### 1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TOMATE PLATENSE Y MANEJO DEL CULTIVO

El tomate Platense es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual, y por tratarse de una variedad indeterminada su crecimiento es ilimitado. La planta se desarrolla de forma rastrera o semierecta exigiendo el empleo de soportes o tutores, práctica que permite una mejor aireación del cultivo, facilita las operaciones de tratamientos fitosanitarios y permite obtener frutos más limpios y sanos. En invernadero, el tutorado se sustenta en un entramado de alambre solidario con la estructura del invernadero, empleando para cada planta un hilo de polipropileno atado a la base del tallo en la parte inferior y a los alambres en la superior (Nuez, 1995).

La ramificación es generalmente simpodial, por lo que los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar al racimo floral. La primera inflorescencia suele aparecer tras la 7<sup>o</sup> a 11<sup>o</sup> hoja. La yema axilar de la hoja previa y opuesta a la inflorescencia se desarrolla vigorosamente. Por fototropismo, este brote axilar toma una posición vertical, desplazando lateralmente la inflorescencia, y dando la apariencia de un crecimiento continuo del tallo principal con inflorescencias laterales internodales. Cada inflorescencia suele alternarse con la siguiente cada tres hojas (Nuez, 1995; Heuvelink, 1996).

La planta de tomate Platense puede alcanzar grandes longitudes, pero sólo unos 2 metros terminales mantienen hojas, flores y frutos; es a través del sistema de poda y tutorado que se logra una adecuada conducción del cultivo. Los tipos básicos de conducción son a uno y a dos tallos. En la poda a un tallo se eliminan todos los brotes axilares del tallo principal, permitiendo el crecimiento indefinido de la guía principal hasta su eventual despunte. En la poda a dos tallos se deja crecer uno de los brotes axilares (a partir de la 2<sup>o</sup> o 3<sup>o</sup> hoja tras la primera inflorescencia), con lo que se disponen de dos

guías o tallos, el principal y el nacido del brote axilar (Nuez, 1995). Para el cultivo en el presente trabajo se ha establecido el sistema de conducción a un solo tallo como el más simple al momento del tutorado, lo que origina la necesidad de un continuo desbrotado. El aumento del número de tallos incide en el tamaño de los frutos (obteniendo menores tamaños con más guías), estando además limitado por el vigor del cultivo. La densidad del cultivo deberá adecuarse al tipo de poda previsto, siendo de 2,4 plantas  $m^{-2}$  para la conducción a un tallo, ampliándose el marco de plantación si se poda a más tallos de los usuales. La densidad de plantación y la conducción y manejo del cultivo deben optimizar la intercepción de la radiación.

## **2. OBJETIVOS**



## **OBJETIVO GENERAL**

Analizar el efecto de la nutrición mineral, en particular de nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el crecimiento y el desarrollo del tomate Platense.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Evaluar el efecto de la nutrición mineral en:
  - a. el desarrollo foliar, el área foliar específica y la eficiencia de intercepción y de uso de la radiación por el follaje.
  - b. el contenido de clorofilas y polifenoles en hoja.
  - c. la generación de biomasa y en su partición entre estructuras vegetativas y reproductivas.
  - d. el rendimiento de la cosecha
  - e. la calidad del fruto, expresada a través del contenido de azúcares, antocianos y polifenoles.
2. Valorar el efecto de la nutrición mineral y de la posición del racimo en el cuajado y maduración del fruto.
3. Desarrollar modelos estadísticos de estimación del área foliar y del peso fresco del fruto para desarrollar las actividades relacionadas con el objetivo 1.a. mediante muestreos no destructivos.

## **HIPÓTESIS**

1. En tomate Platense tanto la presencia/ausencia de nitrógeno, fósforo o potasio como la proporción de estos nutrientes en la solución nutritiva tienen efectos sobre los siguientes parámetros:
  - a. el desarrollo foliar.

- b. la tasa de crecimiento del cultivo valorable a través de la eficiencia de interceptación y de uso de la radiación.
- c. el contenido de clorofilas y polifenoles en hoja.
- d. la biomasa aérea y su partición.
- e. el rendimiento a través del establecimiento de los frutos, su tasa de crecimiento y la calidad de los mismos (contenido de azúcares, de antocianos y de polifenoles).

2. Como en otras variedades de tomate, en el tomate Platense sería de esperar que durante el ciclo del cultivo los frutos y las estructuras vegetativas compitan por los asimilados, dependiendo la partición de los mismos de la posición del racimo dentro de la planta. Esto conduciría a:

- a. distinta cantidad de estructuras florales y fructíferas en cada racimo.
- b. diferente tasa de crecimiento y tamaño final de los frutos.
- c. distinta calidad del fruto, expresada a través del contenido de azúcares.

3. A través de mediciones no destructivas se pueden estimar parámetros que permitan interpretar el comportamiento de un cultivo de tomate Platense en su crecimiento y desarrollo.

## **ESTRUCTURACIÓN DE LA ACOMETIDA DE LOS OBJETIVOS EN EL MANUSCRITO**

Para cumplir con los objetivos propuestos y poner a prueba las hipótesis planteadas se llevaron a cabo experimentos con tomate Platense conducidos bajo cubierta, y sometidos a distintos tratamientos nutricionales. Dado el tamaño y el diseño experimentales, la densidad de cultivo utilizada y las prácticas culturales realizadas



durante el desarrollo de los experimentos, los resultados obtenidos son representativos de una situación real de producción comercial.

En el Capítulo 3 se presenta la conducción general de los experimentos, y el detalle de cada uno de ellos. Para los experimentos 1 y 2, realizados en diferentes épocas del año, los tratamientos consistieron en dos niveles de nutrición para los elementos nitrógeno, fósforo y potasio desde el inicio del cultivo. Para el experimento 3 los tratamientos consistieron en tres niveles de nitrógeno, iniciándolos en estadíos más avanzados con el objeto de modificar la oferta nutricional en distintos momentos de desarrollo reproductivo. El cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados ha sido abordado en los capítulos siguientes. A través de los experimentos 1 y 2 se respondió a los objetivos 1.a y 1.b. (Capítulo 4.2.). El objetivo 1.c (Capítulo 4.3.) se cumplió mediante los tres experimentos. El Capítulo 4.4. hace referencia a los objetivos 1.e y 2, a través del experimento 3. El resto del Capítulo 4.4. (objetivo 1.d) cuenta con datos de todos los experimentos realizados. El objetivo 3 (Capítulo 4.1.) fue cumplido parcialmente con los primeros dos experimentos mediante el desarrollo de los modelos predictivos de estimación del área foliar y del contenido de nitrógeno y clorofila en hojas, habiendo aplicado esta metodología en las mediciones del tercer experimento. El modelo de estimación del peso del fruto fue ajustado durante el experimento 3. En el último capítulo (Capítulo 5) se recogen las conclusiones de este trabajo, que incluye la aceptación o refutación de las hipótesis planteadas, los aportes originales de la tesis al conocimiento científico y las implicancias para futuras investigaciones.



## **3. MATERIAL Y MÉTODOS**



### 3.1. EXPERIMENTOS

#### 3.1.1. Conducción General de los Experimentos

Los experimentos fueron realizados bajo cubierta en el predio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34°45´S, 60°31´W, 25msnm). El invernáculo tipo capilla con cubierta de polietileno y orientación Norte-Sur, de 10m de largo x 4m de ancho, posee tres mesadas sobreelevadas, sobre las cuales se ubicaron 96 macetas de plástico, de 10 litros de capacidad, distribuyéndolas a fin de obtener una densidad de 2,4 macetas m<sup>-2</sup>, que se mantuvo durante todo el ciclo del cultivo. Los plantines de tomate fueron generados en *plugs*, utilizando semilla de tomate Platense originaria del "Proyecto de rescate y difusión del tomate Platense", y un sustrato preparado en base a perlita, turba *Sphagnum* rubia y compost de residuos de cultivos hortícolas intensivos (25%, 50% y 25% v:v, respectivamente).

A fin de controlar la disponibilidad de la totalidad de los nutrientes esenciales, los experimentos se condujeron en un sistema de cultivo sin suelo, para lo cual se conformaron soluciones nutritivas de riego y se utilizó un sustrato mezcla de perlita y turba *Sphagnum* rubia (50% v:v). Desde el momento del trasplante, a razón de una planta por maceta, y por el término de tres a cuatro semanas, las plantas fueron regadas en forma diaria y alternada con agua y una solución nutritiva completa (Hoagland modificada) (Anexo I, Tabla I.1.), a fin de posibilitar su correcto arraigo y corregir posibles situaciones de estrés originado en el trasplante. Posteriormente las macetas fueron divididas en bloques, y se comenzó con los distintos tratamientos. El cultivo se condujo a un tallo, eliminando en forma manual todos los brotes axilares. El tutorado se realizó con una cinta de polipropileno atada a la base del tallo, y en la parte superior atada a los alambres del entutorado sujetos a la estructura del invernáculo, sobre la cual se fue enrollando el tallo principal en la medida que iba creciendo.

Por las características de los experimentos (densidad, conducción, manejo), los resultados obtenidos son representativos de una situación real de producción comercial. Se utilizaron plantas de crecimiento indeterminado, pero se condujeron como si fuera de crecimiento determinado cortando el ápice caulinar a la altura del tercer racimo y dejando las dos hojas por encima de él, ya que actúan como fuente del mismo (Heuvelink, 1996; García Luis y Guardiola, 2008). Como resultado de este corte, y al haberse continuado con el desbrote durante todo el experimento, las plantas vieron limitada la cantidad de hojas expandidas. Por este motivo se analizará el efecto de la nutrición mineral sobre la generación y duración de esta área foliar.

Los aspectos concretos de la metodología que conciernen a cada capítulo se recogen dentro del mismo bajo el epígrafe *Metodología específica* donde se incluyen los muestreos, las mediciones realizadas y las técnicas analíticas correspondientes.

### **3.1.2. Experimentos 1 y 2**

El experimento 1 fue realizado durante el período verano-otoño de 2002, en una producción tardía para esta especie, iniciándose con una siembra en *plugs* el 15 de enero, transplantando a los 45 días y comenzando con los tratamientos a los 24 ddt (ddt: días desde el trasplante), en el estado de 4 hojas expandidas. El experimento 2 se llevó a cabo durante otoño-invierno de 2005, plena contraestación para este cultivo. La siembra fue realizada en *plugs* el 1º de marzo, y el trasplante se efectuó a los 31 días, comenzando con los tratamientos a los 28 ddt (4 hojas expandidas). En ambos casos, alrededor de los 100-110 ddt se cortó el ápice caulinar a todas las plantas a la altura de dos hojas por encima del tercer racimo floral, con el comentado fin de determinar su crecimiento.

Los tratamientos consistieron en dos niveles de disponibilidad para los elementos N (n: 111ppm, N: 222ppm), P (p: 20ppm, P: 40ppm), y K (k: 172ppm, K: 342ppm) en la

solución de riego. Las distintas concentraciones originaron ocho posibles combinaciones: npk (solución nutritiva con la mitad del óptimo para los tres nutrientes); npK; nPk; nPK; Npk; NpK; NPK y NPK (solución nutritiva completa). Esto pretendió generar la deficiencia de uno, dos o los tres macronutrientes considerados, como así también una relación proporcional variable entre ellos. Los otros macronutrientes esenciales fueron agregados a todos los tratamientos en sus concentraciones óptimas (Ca: 150ppm; Mg: 25ppm; S: 73ppm), al igual que los micronutrientes necesarios. Con la finalidad de garantizar la solubilidad de estos elementos en la solución nutritiva de riego se ajustó el pH de ésta a valores entre 5,5 y 5,7. Asimismo se evitó, a través del control de su conductividad eléctrica, el efecto de toxicidad por salinidad estando siempre por debajo de 2 dS/m. En el mismo sentido, los riegos se realizaron en forma diaria y alternada con agua y la solución nutritiva correspondiente a cada tratamiento, a razón de 1 litro por maceta. Las formulaciones de las ocho soluciones nutritivas son presentadas en el Anexo I, Tablas I.1. a I.8.

### **3.1.3. Experimento 3**

Este experimento se condujo durante el otoño-invierno 2007, período de contraestación para la especie. Se sembró en *plugs* el 10 de enero, trasplantándose el 7 de marzo (0 ddt) e iniciando los tratamientos a los 84 ddt, momento de antesis en el primer racimo. Los tratamientos se iniciaron más tarde que en los experimentos anteriores, siendo el objetivo evaluar el efecto de modificar la oferta nutricional nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad de los frutos, a partir de la antesis (primer racimo), al momento de desarrollarse las estructuras reproductivas (segundo racimo), o previo a generarse las mismas (tercer racimo).

Los tratamientos consistieron en tres niveles de abastecimiento de nitrógeno: N50, solución nutritiva con la cuarta parte del nivel óptimo de nitrógeno (50ppm); N100, solución con la mitad del nivel óptimo del elemento (100ppm); y N200, solución completa (200ppm de nitrógeno). Los otros macronutrientes y los micronutrientes esenciales fueron agregados a todos los tratamientos en sus concentraciones óptimas (P: 40ppm; K: 342ppm; Ca: 150ppm; Mg: 25ppm; S: 73ppm). Al igual que en los Experimentos 1 y 2 se ajustó el pH de las soluciones nutritivas de riego a valores entre 5,5 y 5,7, y se controló el efecto de toxicidad por salinidad. Los riegos, a razón de 1 litro por planta, se realizaron en forma diaria y alternada con agua y la solución nutritiva correspondiente a cada tratamiento. Las formulaciones de las soluciones nutritivas son presentadas en el Anexo I, Tablas I.9. a I.11.

### **3.2. Mediciones**

Las mediciones concretas a los objetivos de los distintos capítulos fueron realizadas durante los principales eventos fenológicos del cultivo: (i) comienzo de floración CF, cuando la primera inflorescencia está en antesis; (ii) comienzo de cosecha CC, momento en que es cosechado el primer fruto maduro; y (iii) fin de cosecha FC, identificado por la cosecha del último fruto maduro. A través del período de tiempo entre CC y FC, queda establecido el denominado período de producción del cultivo.

### **3.3. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANVA) para evaluar diferencias en las variables estudiadas dentro de cada experimento. Cuando el análisis reveló diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,05$ ), se procedió a hacer la comparación de medias utilizando el test de Tukey. La relación entre variables se analizó



por medio de regresiones lineales. Para el análisis estadístico se empleó el *software* estadístico InfoStat.



## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## 4.1. DESARROLLO DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO EN TOMATE PLATENSE

### 4.1.1. Introducción

Una dificultad para establecer relaciones funcionales en experimentos controlados (i.e., no creciendo a campo en condiciones extensivas) ha radicado siempre en la insuficiente disponibilidad de material vegetal para realizar muestreos destructivos. En el presente estudio se desarrollaron modelos predictivos, no destructivos y rápidos, de estimación del área foliar, del contenido de nitrógeno y clorofila en hojas y del peso del fruto. Las medidas alométricas o de proporciones son utilizadas con relativa frecuencia dentro del análisis del crecimiento en especies vegetales (Vega et. Al, 2000; Borrás y Otegui, 2001; Vega et al., 2001; Maddonni y Otegui, 2004).

En muchos experimentos se realizan mediciones no destructivas, donde las plantas son manipuladas repetidamente. Las mediciones más comunes son el largo y ancho de las hojas para estimar el área foliar, el largo o diámetro de los frutos para estimar su crecimiento, y el uso de cámaras para medir el intercambio de CO<sub>2</sub> y vapor de agua de las hojas o frutos. En general, se asume que tales mediciones no alteran el normal desarrollo de las plantas. Kläring (1999) investigó este efecto sobre las plantas de un cultivo de pimiento, concluyendo que estas mediciones mecánicas pueden afectar la morfología y fisiología de las plantas, por un proceso de tigmomorfogénesis. Sin embargo, parece imposible hacer una exacta predicción cuantitativa ya que diferentes perturbaciones mecánicas no son comparables, y puede existir también una interacción con factores ambientales (Pöntinen y Voipio, 1992).

Ante el bajo número de plantas con que se cuenta en un ensayo de tomate bajo cubierta y la dinámica en la aparición de hojas, es importante contar con una herramienta

que permita estimar el área foliar y poder describir la evolución de la misma al analizar la relación fuente-sumidero mediante un método no destructivo. Dada la dificultad de un seguimiento *in situ* del área foliar y la imposibilidad de una estimación en base a muestreos destructivos, se requirió establecer una relación alométrica para predecir el área en función del largo de la hoja como en otras especies (Montgomery, 1911; Dwyer et al., 1992; Williams y Martinson, 2003).

La técnica más utilizada para la determinación cuantitativa de nitrógeno total es la de Kjeldahl. Si bien se fundamenta en un firme principio químico, tiene los inconvenientes de requerir equipo especializado y un prolongado tiempo de análisis. Por su parte, la determinación de clorofila por extracción con acetona es un método usado para estimar el estado nutricional de los cultivos, principalmente de nitrógeno, magnesio y hierro, y tiene los mismos inconvenientes que el método de Kjeldahl (Rodríguez Mendoza et al., 1998). Reeves et al. (1993) determinaron que la cantidad de nitrógeno total y clorofila determinados por estos métodos tradicionales presenta una alta correlación con las unidades SPAD registradas con un medidor de clorofila. Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la radiación que llega al follaje es absorbida por la clorofila, siendo el resto de la luz detectada por el aparato y convertida en una señal eléctrica (Rodríguez Mendoza et al., 1998). Esta metodología es utilizada ampliamente en cultivos extensivos como trigo y maíz, con el objetivo de determinar instantáneamente las necesidades de fertilizar con nitrógeno (Inskeep y Bloom, 1985; Yadava, 1986; Marquard y Tipton, 1987; Monje y Bugbee, 1992). Si bien Krugh et al. (1994) plantean que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas, es necesario ajustar un modelo para cada especie vegetal con que se trabaje.

#### **4.1.2. Metodología específica**

##### **4.1.2.1. Estimación del área foliar**

Se realizaron cosechas de un número representativo ( $n = 266$ ) de hojas, correspondientes a distintos estados de desarrollo y tratamientos. Se les midió el largo (incluido el pecíolo), e inmediatamente fueron medidas sus superficies a través de un areafoliómetro (LI-COR Model 3100 Area Meter).

##### **4.1.2.2. Estimación del contenido de N foliar y de clorofila: uso del SPAD**

Se realizaron lecturas semanales con SPAD (Minolta chlorophyll meter SPAD-502) en cinco sitios distintos de cada hoja (dos folíolos proximales, dos medios y el distal), que luego fueron promediadas. Las mediciones ( $n = 216$ ) se realizaron en hojas de plantas de los ocho tratamientos, en distintos estados de desarrollo foliar: (i) hojas jóvenes HJ, aún en expansión, caracterizadas por poseer sus folíolos dispuestos en ángulo en su inserción en la nervadura central; (ii) hojas maduras HM, recién alcanzada plena expansión, sus folíolos están dispuestos en un plano y la hoja siguiente en estado de hoja joven; y (iii) hojas viejas HV, que aún fotosintetizan (i.e. verdes a los ca. 35 días después de plena expansión). También se evaluaron en diferentes períodos del desarrollo de la planta (desde el inicio de la floración hasta el fin del ciclo del cultivo), por lo cual no se siguió la evolución del N para una hoja en particular, sino el perfil del contenido de N en la planta. Se determinó el contenido de N mediante el método de Kjeldahl y se estableció su relación con las lecturas de SPAD (Turner y Jund, 1991; Rodríguez Mendoza et al, 1998).

A fin de ajustar el protocolo para su cuantificación, se realizó un ensayo exploratorio (Divo de Sesar, 2005) de extracción de clorofilas con N,N dimetilformamida (DMF), según método de Inskeep y Bloom (1985) modificado, y posterior medición de su contenido (Life Science UV/VIS Spectrophotometer DU530, Beckman). Para ello se

tomaron porciones de hoja ( $n = 20$ ) de superficie conocida ( $16 \text{ mm}^2$ ), incubándolas a temperatura ambiente en la semipenumbra. A partir de las 12 horas y hasta las 84 horas de incubación se realizaron lecturas de absorbancia de las clorofilas a 647 y 664,5 nm, cada 12 horas. Utilizando los coeficientes de Inskeep y Bloom (1985) se realizaron los cálculos correspondientes verificando a qué tiempos se observaban las lecturas con valores máximos, con la menor dispersión. Eso se dio a las 48 horas para tomate Platense. Luego de ajustados los tiempos de incubación, se realizaron extracciones de este pigmento en un número significativo de hojas ( $n = 60$ ) abarcando un amplio rango de tonos, desde amarillos (hojas senescentes) hasta verdes oscuros. Posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes para clorofilas totales (ecuación 4):

$$\text{Clorofila Total } (\mu\text{g}) = 17,9 \times \text{absorbancia } 647\text{nm} + 8,08 \times \text{absorbancia } 664,5 \text{ nm} \quad (4)$$

Se realizó un análisis de regresión que permitió cuantificar la concentración total de clorofilas en hojas ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) en función de las lecturas de SPAD a través de la curva de calibración realizada (Marquard y Tipton, 1987).

#### **4.1.2.3. Estimación del Peso del fruto**

Con la finalidad de realizar estimaciones del peso fresco de los frutos, y ante la necesidad de no modificar la relación fuente-sumidero a través de la eliminación de los mismos, se ajustaron modelos no destructivos basados en los diámetros mayor (DM) y medio (DMe: promedio de los diámetros mayor y menor) del fruto. Al momento de la cosecha, a cada uno de los frutos le fue registrado su peso y medido sus diámetros mayor y menor. A través de estos experimentos se obtuvieron los datos necesarios ( $n = 1077$ ) para relacionar el peso de frutos (correspondientes a diferentes estados de maduración y



a distintos tratamientos) con parámetros de fácil medición no destructiva (con calibre). De este modo se pudo describir la evolución de cada fruto en particular, y estudiar la dinámica en la aparición de los frutos en los distintos racimos y dentro de ellos.

### 4.1.3. Resultados

#### 4.1.3.1. Estimación del Área foliar

Mediante análisis de regresión se relacionaron el largo de la hoja (L, en cm) y el área foliar (AF, en  $\text{cm}^2$ ), ajustándose a un modelo polinomial (ecuación 5)

$$AF = 0,3822 L^2 - 1,7418 L \quad (5)$$

Con un coeficiente de determinación de  $R^2$  de 0,9285 (Fig. 4.1.), este modelo se utilizó para estimar el área foliar de las plantas creciendo en el invernáculo, a las cuales se les midió el largo de cada hoja fotosintéticamente activa.

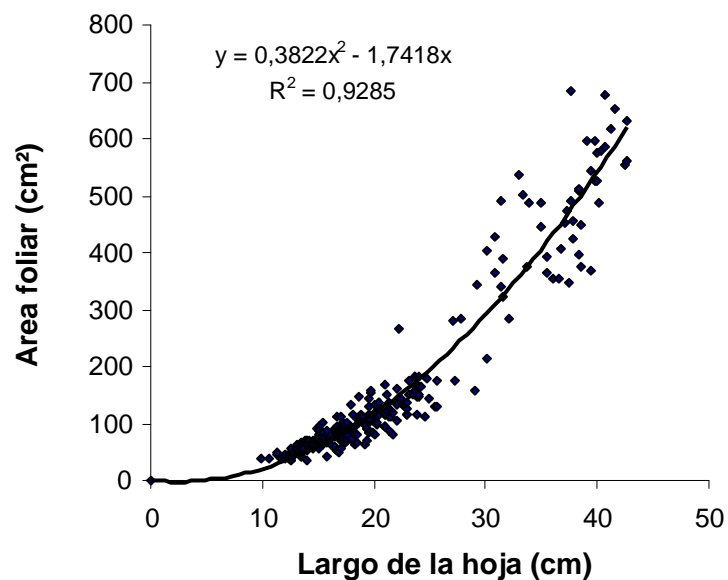


Figura 4.1. Relación entre el área foliar y el largo de la hoja para tomate Platense

#### 4.1.3.2. Estimación del contenido de N foliar y de clorofila: uso del SPAD

La relación entre la lectura de SPAD y el contenido de nitrógeno foliar se ajustó al modelo exponencial (ecuación 6)

$$N \text{ foliar (\%)} = 0,916 e^{0,021 \text{ SPAD}} \quad (6)$$

siendo SPAD la lectura realizada con ese instrumento. El coeficiente de determinación fue bajo:  $R^2=0,40$  (Fig. 4.2.).

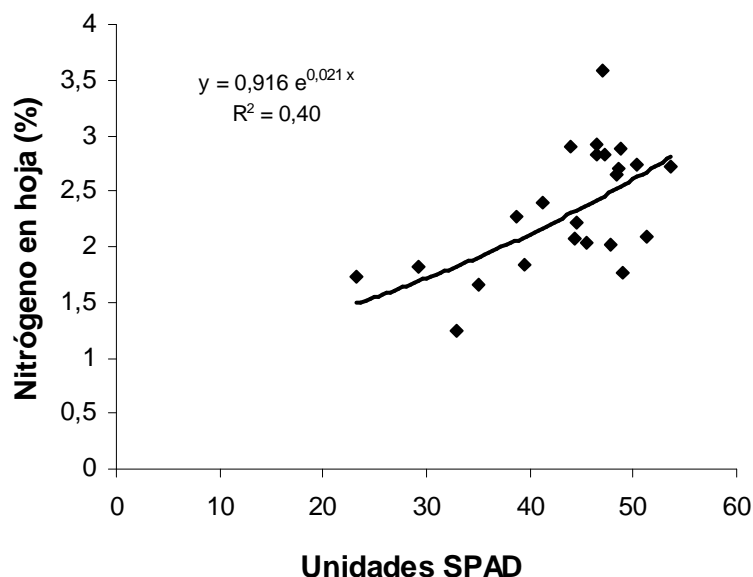


Figura 4.2. Relación entre el contenido de nitrógeno en la hoja y la lectura de SPAD

Sin embargo, se obtuvo un coeficiente de determinación elevado ( $R^2=0,94$ ) mediante el análisis de regresión para la relación entre unidades SPAD y contenido de clorofila foliar (en  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) a través de un modelo exponencial (ecuación 7)

$$\text{Cont. Clorofila} = 11,86 \text{ SPAD}^{1,41} \quad (7)$$

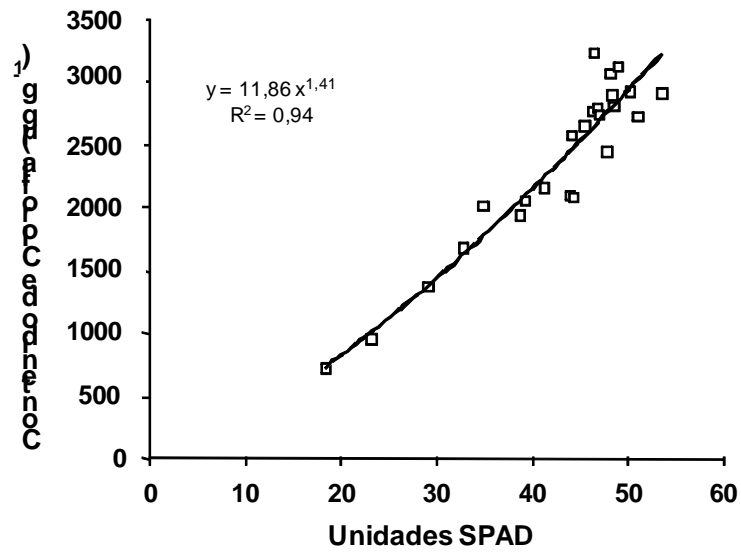


Figura 4.3. Relación entre contenido de clorofila en la hoja y la lectura de SPAD

#### 4.1.3.3. Estimación del Peso del fruto

La relación ( $R^2=0,962$ ) entre el peso fresco (PF, g) y el diámetro medio (mm) del fruto (Fig. 4.4.) se ajustó a un modelo potencial (ecuación 8)

$$PF = 0,0014 DMe^{2,7} \quad (8)$$

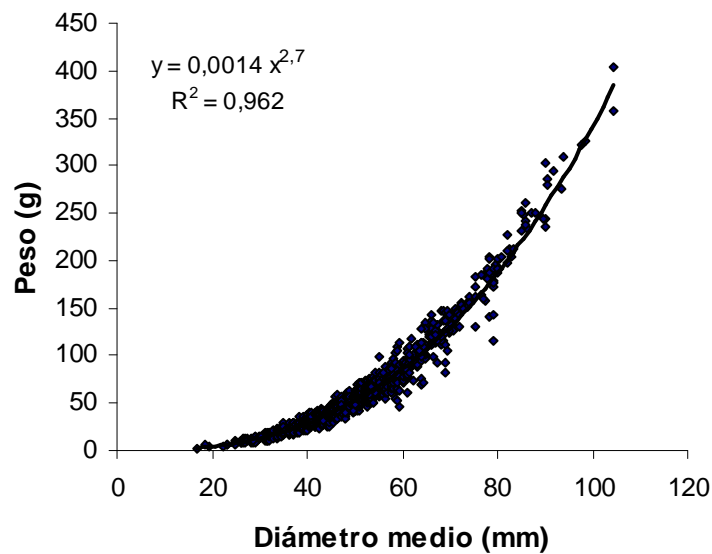


Figura 4.4. Relación entre peso del fruto de tomate y su diámetro medio

Al relacionar el peso del fruto con sólo el diámetro mayor (mm) del mismo (Fig. 4.5.), se ajustó con una alta relación ( $R^2 = 0,951$ ) a un modelo potencial (ecuación 9)

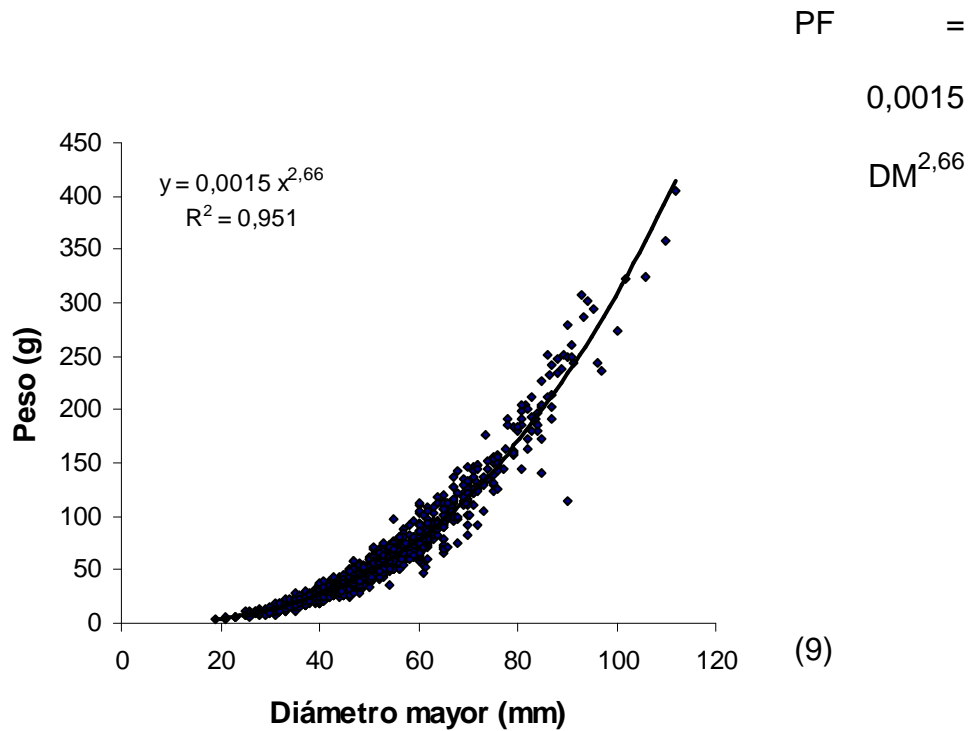


Figura 4.5. Relación entre peso del fruto de tomate y su diámetro mayor

#### 4.1.4. Discusión

En general las regresiones más utilizadas son aquellas que consideran el largo y/o el ancho de las hojas para estimar la superficie foliar, debido a su practicidad y por tratarse de mediciones no destructivas. La incorporación de ambas variables podría evitar la dispersión que se observa en la Figura 4.1. a altos valores de largo de la hoja. Sin embargo, en el caso de estimación del área foliar en tomate no es posible establecer la medición del ancho dada la morfología irregular de su lámina, característica que dificultaría precisar dicha variable. Este modelo que utiliza una única variable evita problemas de colinearidad entre el largo y el ancho de cada hoja, y requiere mediciones

para solamente una dimensión foliar, lo que además simplifica el procedimiento de medición.

La estimación de nitrógeno y clorofila se ajustó una técnica que permite cuantificar su contenido en hoja sin destruir el tejido vegetal, haciendo mínimo el tiempo de determinación, y permitiendo seguir el desarrollo de una misma hoja a través del tiempo. Esta metodología presenta como ventaja el sustituir la determinación de clorofila por los métodos tradicionales (y destructivos) por una sencilla lectura del SPAD.

Para la estimación del peso del fruto se hallaron altas relaciones con su diámetro medio, lo cual involucra dos mediciones por fruto, y su diámetro mayor, con una única medición. El modelo que utiliza esta última variable fue el utilizado en estos experimentos, dado que resultó más práctico debido a que se reduce a la mitad la cantidad de mediciones.

Se obtuvieron así funciones de ajuste mediante regresiones lineales entre (i) el largo de la hoja y su área foliar; (ii) los valores medidos de SPAD y el contenido de N y de clorofila foliar; y (iii) el diámetro mayor del fruto y su peso. Estos modelos de predicción no destructivos y rápidos fueron utilizados para realizar el seguimiento de los parámetros estimados, permitiendo describir la evolución de los mismos a lo largo del ciclo del cultivo.



## 4.2. CAPTURA DE LUZ Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA

### 4.2.1. Introducción

El índice de área foliar es un parámetro indicativo del tamaño de la fuente, y valores elevados del mismo se relacionan con una mayor síntesis de carbohidratos, producción de biomasa y rendimiento (Hebbar et al., 2004). Existen, sin embargo, variaciones en la  $e_i$  a similar IAF, atribuibles a cambios en la atenuación de luz producto de la angulación foliar (Duncan, 1971). No se encontraron evidencias sobre variaciones en este rasgo para cultivos de tomate.

El índice de área foliar también se ve fuertemente afectado por la disponibilidad de nitrógeno (Marschner, 1995). La disminución en la oferta de este nutriente provoca fuertes reducciones del IAF en tomate, indicándose caídas de hasta 75% (Scholberg et al., 2000). Esta respuesta puede ser acompañada por un aumento en la concentración de nitrógeno en las hojas recién expandidas, aunque no por incrementos equivalentes en la eficiencia en el uso de la radiación. El aumento en el IAF fue asociado al aumento en el tamaño medio de las hojas y al número de hojas por ramificación, pero las hojas eran de menor espesor.

Una mayor disponibilidad de nitrógeno resulta en la demora en el comienzo de la senescencia foliar, manteniéndose así por más tiempo los máximos valores de área foliar (Marschner, 1995). No obstante, la actividad fotosintética depende además de la edad y de la posición de la hoja, y desciende de forma muy importante al iniciarse la senescencia (Peat, 1970). Aún cuando la iluminación, temperatura y concentración de  $\text{CO}_2$  sean óptimas, la actividad fotosintética no permanece constante. Este comportamiento ha sido atribuido a diversos factores, como el aumento de la fotorrespiración, la disminución de la

fotosíntesis causada por el cierre de los estomas y la distorsión de los cloroplastos (Gosiewski et al., 1982).

Los gradientes verticales del contenido de N foliar en el vástago son un rasgo común en cultivos (Shiraiwa y Sinclair, 1993; Connor et al., 1995), y se corresponden con la distribución de la radiación dentro del dosel, tanto en términos de cantidad (Hirose y Werger, 1987) como de calidad (Rousseaux et al., 1999). La fotosíntesis aumenta con la radiación interceptada y con el contenido de nitrógeno foliar, por lo que el desarrollo de los gradientes de este elemento puede interpretarse como una respuesta que optimiza su utilización respecto a la generación de carbohidratos (Mooney y Gulmon, 1979). Además de los cambios en la estructura del dosel, factores ambientales como la disponibilidad de N también influyen en la distribución vertical de este elemento. Otro factor que contribuye a este gradiente es la edad de la hoja (Mooney et al., 1981). La mayoría de los estudios sobre este tema asume que la fotosíntesis depende del contenido de N foliar sólo en ambientes con alta disponibilidad de luz (Anten et al., 1995). Sin embargo, a baja irradiancia la fotosíntesis está fuertemente determinada por la eficiencia fotosintética, la cual también depende del contenido de N foliar (Hikosaka y Terashima, 1995; Dreccer et al., 2000).

La fotosíntesis de las hojas se ve muy influida por la demanda de los órganos en activo crecimiento, generalmente designados como sumideros de los asimilados (Gifford y Evans, 1981; Azcón-Bieto y Talón, 2008). Si bien las respuestas a corto plazo pueden deberse a efectos sobre la apertura de los estomas, esta explicación no se aplica a los efectos más frecuentes, que son de mayor duración. Una baja demanda por parte del sumidero genera una acumulación de sacarosa en las hojas, causando la síntesis de fructosa 2,6-bifosfato, regulador de la síntesis de sacarosa y de la fotosíntesis, generando



una inhibición por el mismo producto (i.e. feed back) de las reacciones fotosintéticas (Salisbury y Ross, 1994).

Las mayores tasas fotosintéticas para hojas de tomate se obtienen con una concentración tisular de  $38 \text{ mg N g}^{-1}$  y valores de N foliar específico de  $2,0 \text{ g N m}^{-2}$  (Scholberg, 1996). Aunque un estrés severo de N durante el período de crecimiento vegetativo origina menos hojas y más pequeñas, la capacidad fotosintética por unidad de área foliar no se reduce. El aumento concurrente en el grosor de la hoja le permite a la planta mantener tasas fotosintéticas relativamente altas bajo condiciones limitantes de N, aun cuando la concentración de N por unidad de peso seco de la hoja sea menor. Scholberg et al. (2000) indican que bajo condiciones limitantes de nitrógeno, una menor eficiencia en el uso de la radiación se correspondió con una disminución en la concentración tisular de nitrógeno en las hojas recién expandidas, de  $40$  a  $15 \text{ mg N g}^{-1}$ . En cultivos fertilizados con nitrógeno, la concentración en hoja alcanzó valores de  $55$  a  $65 \text{ mg N g}^{-1}$  en etapas iniciales hasta  $20$  a  $35 \text{ mg N g}^{-1}$  hacia el final del ciclo productivo. Un estrés de nitrógeno severo afectó marcadamente la concentración de nitrógeno en hojas y tallos de tomate, mientras que en frutos fue menos variable.

Existe una íntima relación entre el nivel de nitrógeno o fósforo en planta y el metabolismo carbonado (Marschner, 1995). La clorofila, en sus diversas formas, es el pigmento fotosintético principal en las plantas superiores y su contenido en la hoja depende de la concentración de N foliar, condicionando ésta la máxima actividad fotosintética. Déficits de N inducen la acumulación de almidón en las hojas, lo que hace disminuir rápidamente el área foliar específica y puede determinar una reducción de la fotosíntesis o la senescencia foliar anticipada en etapas avanzadas del cultivo (Novoa y Loomis, 1981; Muchow, 1988). El déficit de P también detiene la expansión foliar, respuesta que va acompañada de una menor área fotosintetizante además de producir

cambios en la relación tallo:raíz. Esta disminución en el crecimiento, sin embargo, resulta más de una falta de P para la formación de nuevos órganos que de una caída en la actividad fotosintética (Le Bot et al, 1998).

Siddiqi et al. (1998) encontraron que la reducción en la concentración de macronutrientes al 50% o 25% de la considerada óptima para el cultivo de tomate, no tuvo efectos adversos sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto, por lo que consideraron que las soluciones nutritivas utilizadas en producciones hidropónicas constituían un consumo de lujo por parte del cultivo. En su trabajo también documentaron una gran capacidad *buffer* de la planta de tomate para almacenar N en exceso, por encima del estrictamente requerido para su crecimiento. Estos autores observaron que ante una menor disponibilidad de nitrógeno por un período de 16 días luego de un ciclo de cultivo prolongado con una buena nutrición mineral, el establecimiento de los frutos ocurrió a expensas del nitrógeno de las hojas, mostrando la capacidad de modificar la naturaleza del N almacenado en sus estructuras vegetativas (i.e. reservas de N) (Le Bot et al., 2001).

La presencia de polifenoles en las plantas se relaciona con varios mecanismos de defensa frente a situaciones adversas del ambiente como la luz, la temperatura y la humedad, y otros internos como diferencias genéticas, contenido en nutrientes y hormonas (Hahkonen et al., 2001). A través de su hipótesis del balance carbono-nitrógeno, Coley et al. (1985) argumentan que ante una baja disponibilidad de nitrógeno las plantas sintetizan polifenoles con el exceso de carbono.

## **4.2.2. Metodología específica**

### **4.2.2.1. Radiación solar y temperatura del aire**

Se obtuvieron registros horarios con sensores de temperatura (TC1047) y sensores de radiación solar PAR calibrados (RAD1) conectados a “dataloggers” (Mili-Logger 2 canales) (Cavadevices.com, Buenos Aires, Argentina). Cada sensor de temperatura se instaló dentro de un micro-abrigo meteorológico, constituido por dos cilindros de PVC de diferente diámetro y 18cm de largo, manteniéndolos separados entre sí 1cm mediante el ajuste de 4 tornillos. Dentro del invernáculo fueron distribuidos 3 sensores de radiación, y dispuestos 2 sensores de temperatura sobre cada una de las mesadas a una altura de 1,30m.

### **4.2.2.2. Área foliar**

Se realizaron mediciones en 10 momentos entre CF y FC en períodos entre 10 y 20 días en todas las plantas de los experimentos. La medición del largo de cada hoja verde permitió, a través de la estimación mediante el modelo alométrico descrito en el apartado 4.1.3.1., seguir la evolución del área foliar durante el ciclo del cultivo.

### **4.2.2.3. Área foliar específica**

El área foliar específica (AFE,  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) se determinó mediante la extracción de muestras (60 por cada tratamiento) de hojas de distinta edad, con un sacabocado circular de superficie conocida ( $1,04 \text{ cm}^2$ ), llevándolas a estufa hasta peso constante. Se obtuvo así el área foliar específica a partir de la relación entre superficie y peso.

#### **4.2.2.4. Radiación interceptada por el dosel y eficiencia de intercepción**

Se estimó la eficiencia de intercepción de la radiación solar incidente a partir de mediciones efectuadas con un sensor lineal (LI-191A, LI-Cor, Lincoln, Nebraska). Para cada tratamiento se realizó una medición de la radiación incidente sobre el dosel ( $I_0$ ) y otra debajo del mismo ( $I_b$ ), calculando la eficiencia de intercepción de la radiación ( $e_i$ ) según la ecuación 10 (Maddonni y Otegui, 1996; Andrade et al., 2000):

$$e_i = 1 - (I_b / I_0) \quad (10)$$

Las mediciones se realizaron en cuatro momentos durante el ciclo del cultivo (30 ddt; 70 ddt ~ CF; 100 ddt y 150 ddt ~ CC), en los bloques ubicados sobre la mesada central.

Se calculó también el coeficiente de atenuación  $k$  a partir de la ecuación 11 (Goudriaan, 1988):

$$e_i = 1 - e^{(-k \text{ IAF})} \quad (11)$$

#### **4.2.2.5. Producción de biomasa y eficiencia en el uso de la radiación**

A través del experimento 2 se analizó el efecto de la nutrición mineral sobre la generación de biomasa aérea total (BT,  $\text{g m}^{-2}$ ) y su partición (IC). Se recolectó en forma individualizada el material vegetal aéreo producido por cada planta, compuesto por las hojas senescentes, la porción de vástago cortada a los 110 ddt, y el tallo, hojas y frutos maduros y verdes a los 192 ddt. Todo este material fue llevado a peso constante en

estufa a 60 °C durante una semana, obteniéndose después el peso seco total (Heuvelink, 1996).

Se estimó la EUR como la relación entre la biomasa producida y la radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $PAR_i$ ) para las fechas de muestreo indicadas. El cómputo de la  $PAR_i$  acumulada se obtuvo como la suma diaria de la radiación incidente afectada por la eficiencia de intercepción correspondiente a cada día.

#### **4.2.2.6. Contenido de clorofila**

Se determinó el contenido de clorofila en hojas jóvenes, maduras y viejas para cada uno de los ocho tratamientos de los experimentos 1 y 2, y para cada fase de desarrollo del cultivo (CF, CC y FC). En el experimento 3 la determinación se realizó para los tres niveles de nutrición nitrogenada en las hojas jóvenes y las maduras. En este caso las determinaciones corresponden a un promedio de las mediciones realizadas semanalmente, desde el inicio de los tratamientos hasta la finalización del ciclo del cultivo. Se calculó la media de las lecturas SPAD realizadas en cinco puntos de la hoja (en los dos folíolos proximales, los dos medios y el distal) y con ella se obtuvo el contenido de clorofila en hoja aplicando el modelo de regresión obtenido previamente (Fig. 4.3.).

#### **4.2.2.7. Polifenoles**

Para la cuantificación de polifenoles totales se empleó el método basado en el reactivo de Folin-Ciocalteu (1 mL en 1 mL de muestra) (Slinkard y Singleton, 1977) y 10 mL de solución saturada de carbonato de sodio ( $75 \text{ g L}^{-1}$ ). Esta mezcla se incubó durante 2 horas a temperatura ambiente. Luego se determinó la absorbancia a 750 nanómetros con un espectrofotómetro Beckmann serie D200, utilizando ácido gálico como estándar.

Los resultados, promedio de 5 repeticiones ( $n = 50$ ), se expresaron como equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de peso fresco.

### 4.2.3. Resultados

#### 4.2.3.1. Desarrollo foliar

##### 4.2.3.1.1. Área foliar y eficiencia de interceptación

La variación en la disponibilidad de nitrógeno provocó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la evolución del IAF (Fig. 4.6.) durante todo el ciclo de cultivo. Los valores medidos para sus componentes, número de hojas por planta (Fig. 4.7.) y superficie de las mismas (Fig. 4.8.), indicaron una distinta dinámica en sus ritmos de expansión y senescencia.

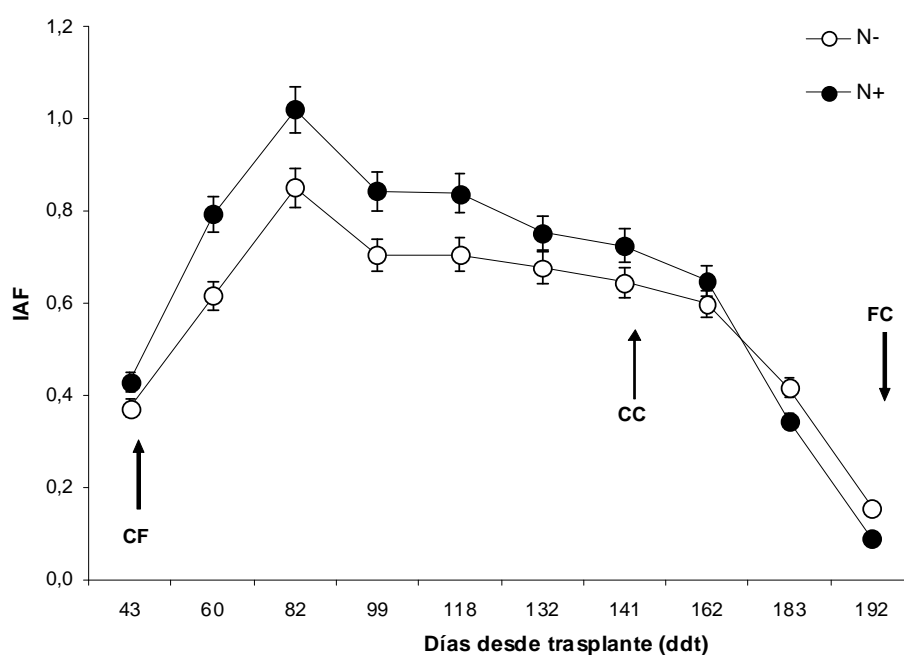


Figura 4.6. Evolución del índice de área foliar para los dos niveles de nutrición nitrogenada: tratamientos con mayor (N+) y menor (N-) provisión de nitrógeno. Las flechas indican los principales eventos fenológicos: comienzo de floración (CF), comienzo de cosecha (CC) y fin de cosecha (FC). Las barras verticales representan el error estándar de la media.

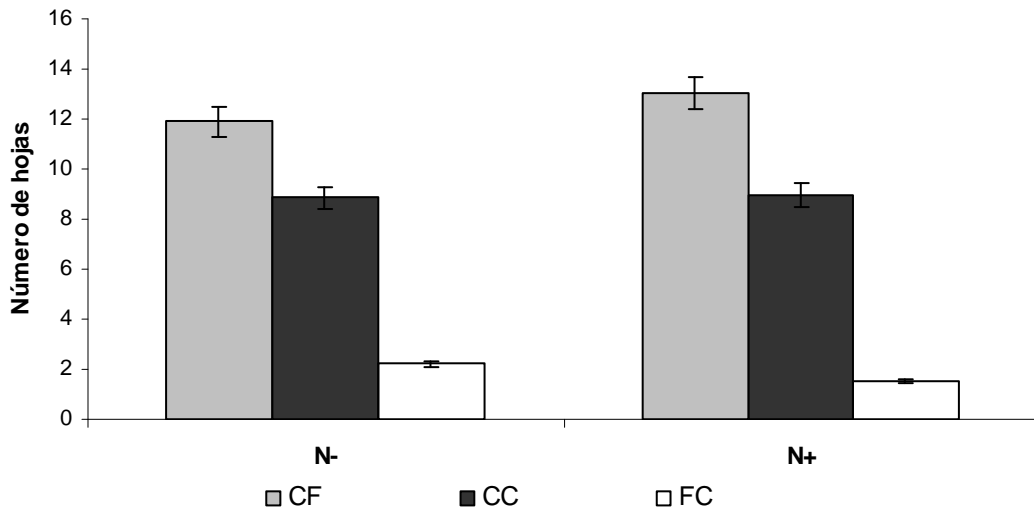


Figura 4.7. Número de hojas por planta para los dos niveles de nutrición nitrogenada en los tres estadios de desarrollo del cultivo. Abreviaturas como en Figura 4.6.

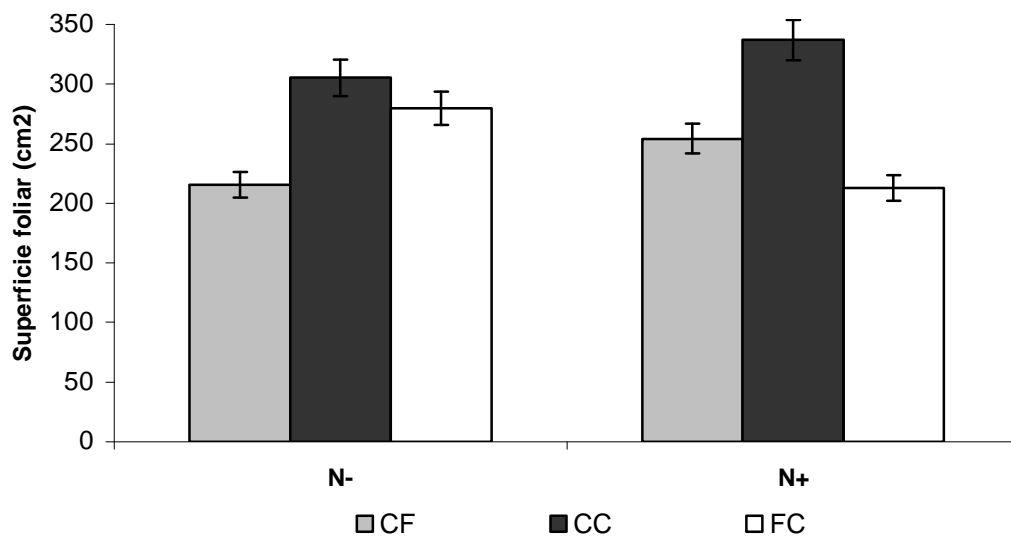


Figura 4.8. Superficie foliar media para los dos niveles de nutrición nitrogenada en los tres estadios de desarrollo del cultivo. Abreviaturas como en Figura 4.6.

Al comienzo de la floración, los tratamientos con buena provisión de nitrógeno (N+) presentaron mayor área foliar por planta ( $\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$ ) que los tratamientos con provisión pobre de nitrógeno (N-), lo que se atribuye tanto a la superficie como al número de hojas. El estadio de desarrollo del cultivo, determinado a través del número de hojas

expandidas, fue similar para ambos grupos de tratamientos, lo que indica que los tratamientos N- no sólo presentaron menor expansión foliar sino también una mayor senescencia. Al igual que otros autores (Varis y George, 1985; Heuvelink, 1995; Yeh et al., 2000), en este experimento se encontraron diferencias durante el período de producción. Al comienzo de cosecha (ca. 141 ddt), ambos grupos de tratamientos alcanzaron la misma área foliar por planta, siendo también similar su componente número de hojas por planta y levemente superior la superficie promedio de hoja en los tratamientos N+. Sin embargo, hacia fin de cosecha (192 ddt) los tratamientos N- presentaron mayor área foliar por planta, siendo también mayores sus componentes, lo que indica que los tratamientos N+ presentaron mayor senescencia de sus hojas viejas, originariamente de mayor tamaño que las de los tratamientos N- (Figs. 4.7., 4.8. y 4.9.).

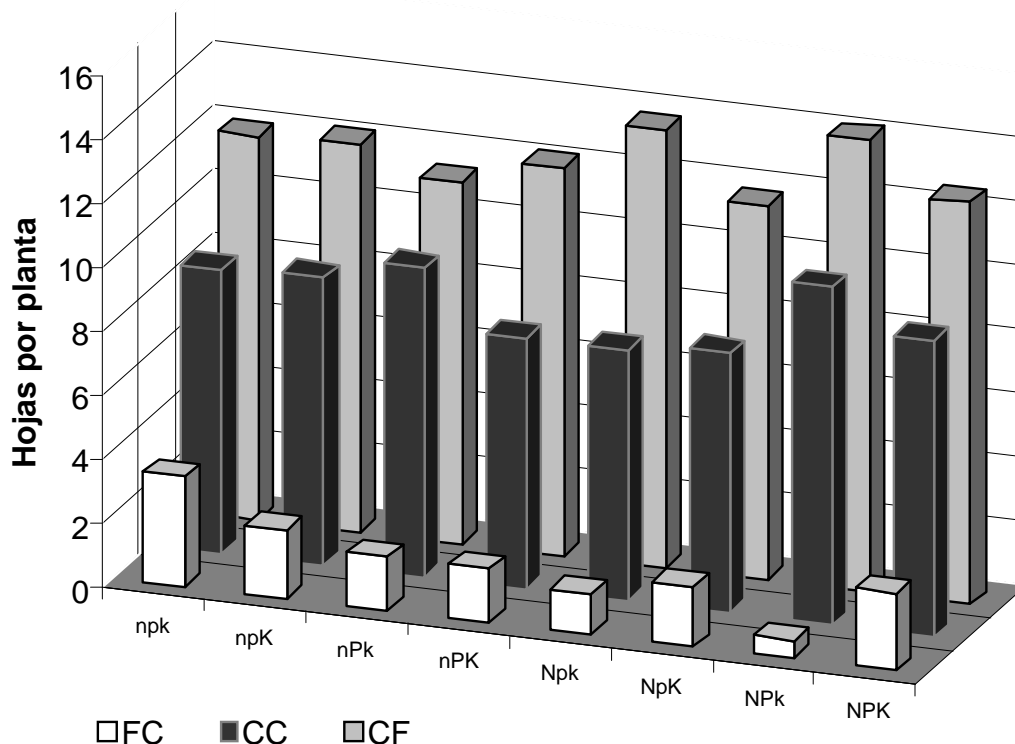


Figura 4.9. Número de hojas por planta para los distintos tratamientos. Abreviaturas como en Figura 4.6.



La correspondiente al tratamiento NPK es la curva de evolución del IAF representativa de la situación de alta disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, siendo éste el tratamiento con mayor IAF en la mayor parte del período estudiado (Fig. 4.10.).

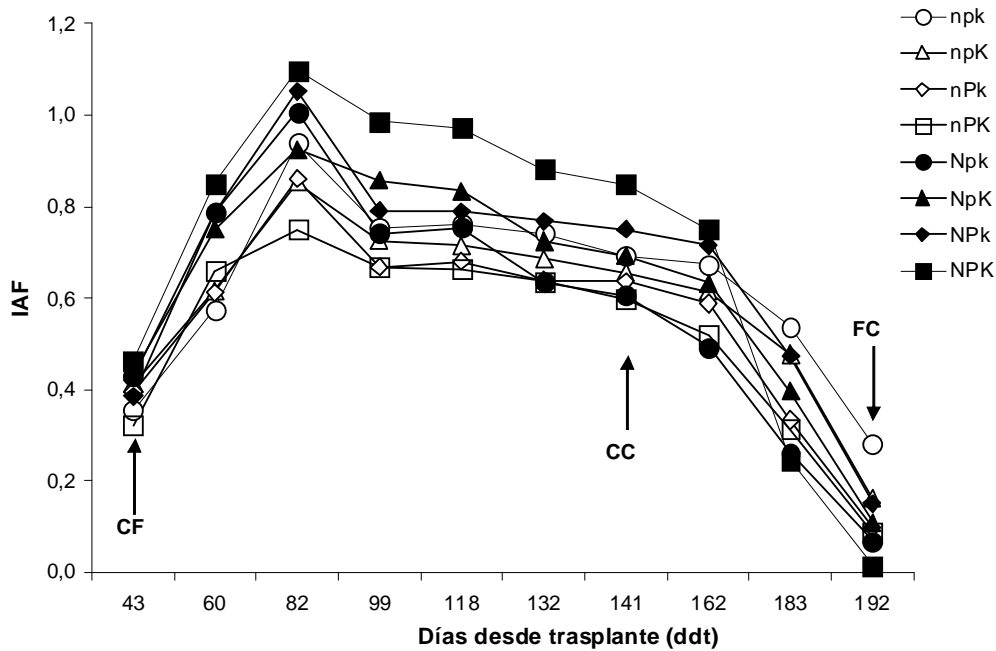


Figura 4.10. Evolución del índice de área foliar para los distintos tratamientos. Abreviaturas como en Figura 4.6.

En contraste, la evolución de los tratamientos N- (npk, npK, nPk y nPK) sugiere que existió una limitación en la expansión foliar desde estadios iniciales del cultivo en estos tratamientos. Este hecho se atribuye a la menor superficie de las hojas (-15%) pues su número permaneció casi inalterado (Tabla 4.1.).

Tabla 4.1. Área foliar y sus componentes en diferentes momentos del ciclo

| Tratamiento<br>Nutricional | Número de hojas<br>(hojas pl <sup>-1</sup> ) |         |        | Superficie media<br>(cm <sup>2</sup> hoja <sup>-1</sup> ) |        |        | Área foliar<br>(cm <sup>2</sup> pl <sup>-1</sup> ) |        |        |
|----------------------------|--|---------|--------|---|--------|--------|--|--------|--------|
|                            | CF <sup>a</sup>                              | CC      | FC     | CF  | CC     | FC     | CF   | CC     | FC     |
| <b>Npk</b>                 | 12,00 bc                                     | 8,86 c  | 3,43 a | 200 f   | 326 b  | 341 a  | 2396 e   | 2885 c | 1168 a |
| <b>npK</b>                 | 12,14 bc                                     | 9,00 c  | 2,14 c | 211 e   | 303 c  | 316 b  | 2568 d   | 2730 d | 678 b  |
| <b>nPk</b>                 | 11,33 d                                      | 9,67 b  | 1,67 e | 225 d   | 275 d  | 244 d  | 2552 d   | 2654 d | 407 e  |
| <b>nPK</b>                 | 12,14 bc                                     | 7,86 d  | 1,67 e | 226 d   | 318 bc | 217 e  | 2747 c   | 2495 e | 362 f  |
| <b>Npk</b>                 | 13,71a                                       | 7,86 d  | 1,29 f | 239 c   | 321 bc | 224 e  | 3282 b   | 2525 e | 288 g  |
| <b>NpK</b>                 | 11,71 cd                                     | 8,14 d  | 1,86 d | 267 a   | 354 a  | 251 cd | 3128 b   | 2883 c | 466 d  |
| <b>NPk</b>                 | 14,14 a                                      | 10,57 a | 2,43 b | 250 bc  | 335 b  | 261 c  | 3269 b   | 3133 b | 634 c  |
| <b>NPK</b>                 | 12,57 b                                      | 9,29 bc | 0,57 g | 260 ab  | 337 b  | 116 f  | 3541 a   | 3541 a | 66 h   |

<sup>a</sup> Principales eventos fenológicos: comienzo de floración (**CF**), comienzo de cosecha (**CC**) y fin de cosecha (**FC**).

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

El IAF al que llega esta especie puede oscilar entre 2 y 3 (Heuvelink, 1996), y aunque el alcanzado en este experimento fue muy inferior (valores cercanos a 1 para los tratamientos N+ y 0,85 para los N-) se obtuvieron valores elevados de  $e_i$ . Al comienzo de la floración (60 ddt) el promedio de  $e_i$  fue de un 83%, habiendo llegado al 90% hacia el comienzo de cosecha (Fig. 4.11.).

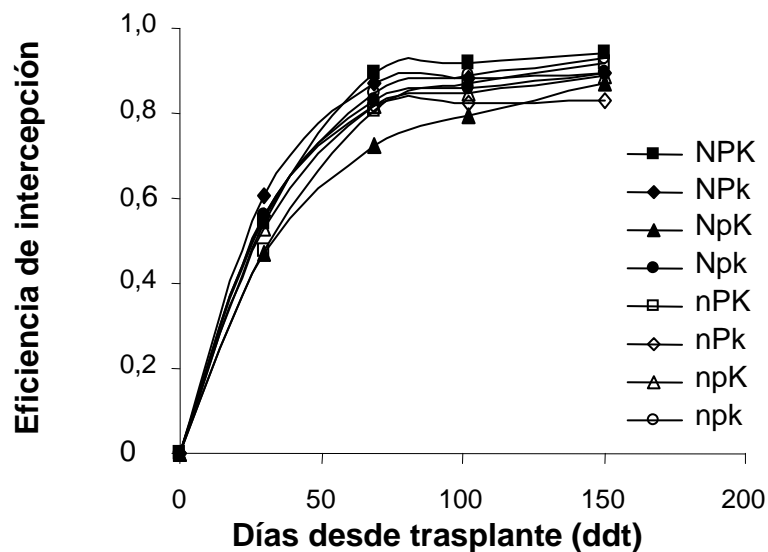


Figura 4.11. Evolución de la eficiencia de intercepción para los distintos tratamientos

#### 4.2.3.1.2. SPAD y contenido de clorofila

Las lecturas de SPAD en los tres tipos de hoja, HJ, HM y HV, para las tres fases de desarrollo consideradas (CF, CC y FC) y para los tratamientos con distinta disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio se recogen en la Tabla 4.2. Las hojas viejas presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos durante todo el ciclo, siendo más contrastantes en sí las referidas a nitrógeno (N+ un 30% superior a N-). En las hojas jóvenes y las maduras una menor disponibilidad de nitrógeno (tratamientos N-) produjo registros menores de SPAD (-9%) que los tratamientos N+, pero sólo en la etapa de FC.

Tabla 4.2. Lecturas de SPAD en hojas de distinta edad y en diferentes momentos del ciclo

| Disponibilidad<br>de N, K o P | Lecturas de SPAD |         |          |               |         |          |              |          |         |
|-------------------------------|------------------|---------|----------|---------------|---------|----------|--------------|----------|---------|
|                               | Hojas Jóvenes    |         |          | Hojas Maduras |         |          | Hojas Viejas |          |         |
|                               | CF               | CC      | FC       | CF            | CC      | FC       | CF           | CC       | FC      |
| <b>N+</b>                     | 47,25 a          | 48,59 a | 47,27 a  | 47,23 a       | 51,79 a | 45,94 a  | 31,53 a      | 30,59 a  | 37,11 a |
| <b>N-</b>                     | 44,72 a          | 46,56 a | 43,16 c  | 45,14 a       | 50,66 a | 42,47 b  | 23,93 d      | 28,36 b  | 28,15 d |
| <b>K+</b>                     | 45,95 a          | 47,76 a | 45,49 bc | 45,14 a       | 50,86 a | 43,51 ab | 27,93 b      | 27,91 b  | 31,14 c |
| <b>K-</b>                     | 46,02 a          | 47,39 a | 44,94 bc | 47,23 a       | 51,59 a | 44,91 ab | 27,53 b      | 31,04 a  | 34,12 b |
| <b>P+</b>                     | 46,70 a          | 48,18 a | 45,99 ab | 47,64 a       | 52,23 a | 44,23 ab | 25,61 c      | 29,41 ab | 33,44 b |
| <b>P-</b>                     | 45,27 a          | 46,98 a | 44,44 bc | 44,73 a       | 50,22 a | 44,19 ab | 29,85 a      | 29,54 a  | 31,81 c |

**N+**, **K+**, **P+**: tratamientos con mayor disponibilidad de nitrógeno, potasio y fósforo, respectivamente; **N-**, **K-**, **P-**: tratamientos con menor disponibilidad de nitrógeno, potasio y fósforo, respectivamente.

Principales eventos fenológicos: comienzo de floración (**CF**), comienzo de cosecha (**CC**) y fin de cosecha (**FC**).

Los valores de SPAD en unidades SPAD. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

Para los momentos de comienzo de floración y comienzo de fructificación, las lecturas en las hojas maduras y jóvenes no presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos, siendo mayores para la segunda etapa. Los valores de SPAD decayeron nuevamente al final de la cosecha, alcanzando niveles similares a los de comienzo de floración y presentando diferencias significativas entre tratamientos, siendo nuevamente los más contrastantes los valores de N+ y N-.

Los registros de SPAD de los distintos tratamientos, estadios de desarrollo de la planta y edad de la hoja se encontraron dentro de un rango relativamente estrecho y elevado de lectura (entre 23 y 52 unidades). Esto indica que el tejido vegetal presentaba un alto porcentaje de nitrógeno y contenido de clorofila, de acuerdo a la relación hallada entre estos parámetros (Capítulo 4.1.). El contenido de clorofila en hojas difirió significativamente entre tratamientos N+ y N- sólo en hojas viejas, y también entre éstas y las hojas maduras y jóvenes. También varió a lo largo del ciclo del cultivo, existiendo diferencias entre los valores máximos alcanzados (Fig. 4.12.).

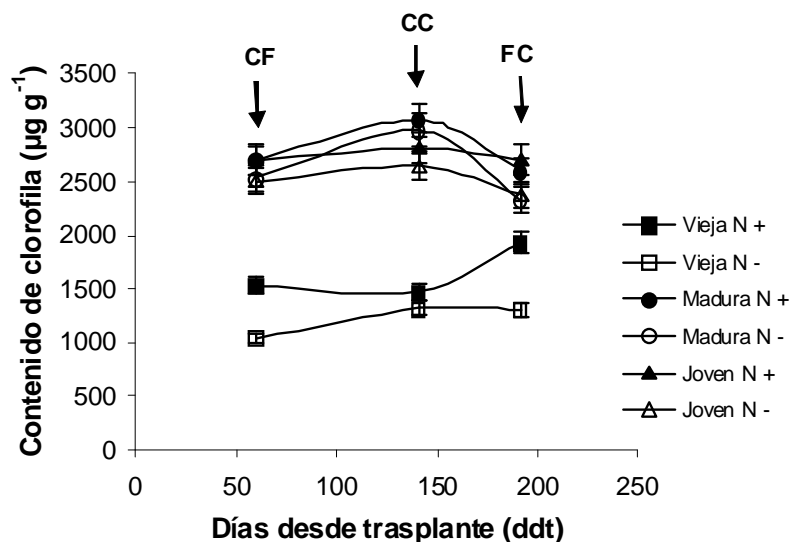


Figura 4.12. Evolución del contenido de clorofila en hojas jóvenes, maduras y viejas para los distintos niveles de nitrógeno. Abreviaturas como en Figura 4.6.

Los contenidos de clorofila en las hojas jóvenes y maduras para los tratamientos con distinta nutrición nitrogenada se recogen en la Tabla 4.3.

#### **4.2.3.1.3. Área foliar específica**

Este parámetro se determinó en hojas jóvenes y maduras, correspondientes a los tratamientos del Experimento 3. Los valores de área foliar específica presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) dentro de cada tratamiento entre las hojas jóvenes y las maduras. Sin embargo, la respuesta fue dispar al considerar los dos grupos de hojas: no se encontraron diferencias significativas entre las hojas jóvenes de los distintos tratamientos, pero sí dentro de las hojas maduras, presentando aquí el tratamiento con menor disponibilidad de nitrógeno un menor valor de esta variable (Tabla 4.3.). Estos datos coinciden con lo expresado por Novoa y Loomis (1981), Muchow (1988) y Le Bot et al. (1998), que señalan que un déficit de nitrógeno induce a la acumulación de almidón en las hojas, lo que hace disminuir rápidamente su AFE.

#### **4.2.3.1.4. Contenido de polifenoles en hoja**

Coincidente con otros autores (Coley et al., 1985; Herms y Mattson, 1992; Cartelat et al., 2005) se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el contenido de polifenoles en hoja entre tratamientos y edad de las hojas, relacionándose con el estado nutricional del cultivo (Tabla 4.3.). Cartelat et al. (2005) establece que en situaciones limitantes de determinados recursos, las plantas no pueden satisfacer en forma simultánea todos los requerimientos para sus procesos fisiológicos. Es así que una deficiencia en nitrógeno restringe el crecimiento más que la fotosíntesis, lo que implica un excedente de carbohidratos que se acumularán en forma de polifenoles.

Tabla 4.3. Contenidos de Clorofila y Polifenoles, y Área foliar específica en hojas de diferente fase de desarrollo

| Tratamiento<br>nutricional y<br>tipo de hoja | Clorofila                 |                          | Área foliar específica          | Relación<br>Clorofila a /<br>Clorofila b | Polifenoles                                 | Relación<br>Clorofila /<br>Polifenoles |
|--|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|---|--|
|  | ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) | ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) | ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) |  | ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1} \text{PF}$ ) |  |
| <b>N50 HJ</b>                                | 15,39 a                   | 3373 a                   | 219,20 c                        | 4,10 a                                   | 318,76 a                                    | 10,58 b                                |
| <b>N100 HJ</b>                               | 15,67 a                   | 3467 a                   | 221,23 c                        | 4,16 a                                   | 234,70 b                                    | 14,77 a                                |
| <b>N200 HJ</b>                               | 16,60 a                   | 3593 a                   | 216,46 c                        | 4,14 a                                   | 268,98 b                                    | 13,36 a                                |
| <b>N50 HM</b>                                | 11,09 b                   | 2801 b                   | 252,56 b                        | 3,97 a                                   | 353,74 a                                    | 7,92 c                                 |
| <b>N100 HM</b>                               | 10,48 b                   | 2844 b                   | 271,42 a                        | 4,06 a                                   | 355,51 a                                    | 7,99 c                                 |
| <b>N200 HM</b>                               | 10,41 b                   | 2791 b                   | 268,13 a                        | 4,23 a                                   | 246,53 b                                    | 11,32 b                                |

**N50 HJ:** Hoja joven, con 50ppm de N en la solución nutritiva; **N100 HJ y N200 HJ:** ídem con 100 y 200ppm, respectivamente.

**N50 HM:** Hoja madura, con 50ppm de N en la solución nutritiva; **N100 HM y N200 HM:** ídem con 100 y 200ppm, respectivamente.

**PF:** peso fresco. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

#### **4.2.3.2. Producción de biomasa y eficiencia en el uso de la radiación**

A igualdad de radiación global incidente y duración del ciclo, la diferencia entre tratamientos en la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada se originó en sus eficiencias de intercepción y en sus evoluciones del IAF. La EUR difirió significativamente ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos (Tabla 4.4.).

Coincidente con lo citado por Tei et al. (2002), los valores de  $PAR_i$  acumulada durante el ciclo fueron diferentes entre tratamientos. Si bien éstos presentaron distinta evolución del área foliar, esta variedad logró un alto coeficiente de atenuación de la radiación aún a bajos valores de IAF y no presentó una mayor senescencia al disminuir la disponibilidad de nitrógeno (apartado 4.2.3.1.1.). Los tratamientos N+, a excepción del tratamiento Npk, registraron los mayores valores de  $PAR_i$  a través de una mayor área foliar y una mayor duración de la misma. La rápida senescencia en el tratamiento Npk originó la menor eficiencia de intercepción de la radiación solar, a pesar de contar con una gran biomasa foliar en estadíos iniciales (Tabla 4.4.).



**Tabla 4.4. Radiación incidente e interceptada, producción de biomasa, eficiencia en el uso de la radiación (EUR) e índice de cosecha (IC)**

| Tratamiento<br>nutricional | Radiación Global                   |                                       | Producción de biomasa         |                               |                               |                                |                            |                              |         |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------|
|                            | incidente<br>(MJ m <sup>-2</sup> ) | interceptada<br>(MJ m <sup>-2</sup> ) | PARi<br>(MJ m <sup>-2</sup> ) | Hojas<br>(g m <sup>-2</sup> ) | Tallo<br>(g m <sup>-2</sup> ) | Frutos<br>(g m <sup>-2</sup> ) | BT<br>(g m <sup>-2</sup> ) | EUR<br>(g MJ <sup>-1</sup> ) | IC      |
| <b>npk</b>                 | 710                                | 469                                   | 211 a                         | 87,1b                         | 65,3 a                        | 113,3 cd                       | 265,7 bc                   | 1,26 c                       | 0,43 bc |
| <b>npK</b>                 | 710                                | 444                                   | 200 b                         | 78,2 c                        | 60,2 a                        | 109,9 de                       | 248,4 c                    | 1,24 c                       | 0,44 b  |
| <b>nPk</b>                 | 710                                | 402                                   | 181 c                         | 79,7 c                        | 59,0 a                        | 119,0 cd                       | 257,5 c                    | 1,42 b                       | 0,46 a  |
| <b>nPK</b>                 | 710                                | 413                                   | 186 c                         | 87,8 b                        | 69,6 a                        | 138,0 b                        | 295,4 b                    | 1,59 a                       | 0,47 a  |
| <b>Npk</b>                 | 710                                | 436                                   | 196 bc                        | 84,2 b                        | 65,5 a                        | 124,3 c                        | 273,8 bc                   | 1,40 b                       | 0,45 ab |
| <b>NpK</b>                 | 710                                | 471                                   | 212 a                         | 85,7 b                        | 67,4 a                        | 98,4 e                         | 251,8 c                    | 1,19 c                       | 0,39 d  |
| <b>NPk</b>                 | 710                                | 480                                   | 216 a                         | 85,9 b                        | 67,7 a                        | 110,2 de                       | 263,8 c                    | 1,22 c                       | 0,42 c  |
| <b>NPK</b>                 | 710                                | 478                                   | 215 a                         | 113,0 a                       | 78,0 a                        | 152,9 a                        | 343,9 a                    | 1,60 a                       | 0,44 b  |
| <b>Media</b>               | 710                                | 449                                   | 202                           | 87,8                          | 66,5                          | 120,7                          | 275,0                      | 1,37                         | 0,44    |

**PARi**: radiación fotosintéticamente activa interceptada; **BT**: biomasa aérea total.

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

#### 4.2.4. Discusión

La diferente disponibilidad de nitrógeno modificó el área foliar hacia el final del período de producción, presentando los tratamientos N- una mayor expansión foliar y una menor senescencia. En esa etapa del cultivo el suministro de asimilados al fruto proviene de las dos hojas ubicadas por debajo y la primera hoja por encima del racimo (Bonnemain, 1965; Bonnemain, 1966). Habiendo conducido el cultivo hasta su tercer racimo floral y teniendo en cuenta que las inflorescencias se ubican en el tallo cada tres hojas, son de ocho a nueve las hojas que actúan como fuente, siendo ese el número de hojas presentes en los tratamientos N+ y N- hacia el comienzo de cosecha.

En estadios productivos (a partir de 141 ddt) los tratamientos N- mantuvieron, en promedio, el área foliar por planta, mientras que los tratamientos N+ la disminuyeron. Esto se debió a la senescencia foliar, ya que si bien la secuencia de aparición de hojas fue común a todos los tratamientos, en el caso de los N+ las hojas que senescieron tenían un área mayor a sus equivalentes en los N-. Esta distinta dinámica en los ritmos de senescencia (Fig. 4.9.), estrechamente asociada a la relación fuente-sumidero y la partición de carbohidratos, será tratada en el Capítulo 4.3.

En el presente trabajo los cultivos lograron una  $e_i$  cercana al 80% (Fig. 4.13.) para un IAF cercano a 1, lo cual indica un  $k$  (de 1,6) propio de hábitos planófilos (Sadras et al., 2000) en contraposición con valores menores a 1 propios de gramíneas (Maddonni y Otegui, 1996). El valor de  $k$  también es evidencia del arreglo foliar o filotaxis (Ho, 1996). Los valores citados específicamente para tomate (Heuvelink, 1996) daban cuenta de una estructura más erectófila ( $k : 0,83$ ) que la detectada en el presente estudio.

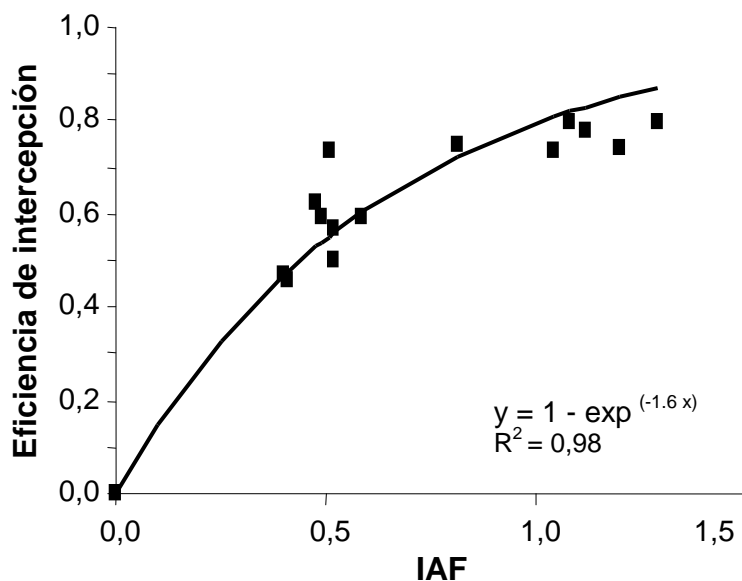


Figura 4.13. Respuesta de la eficiencia de intercepción al índice de área foliar

Una mayor disponibilidad de K (tratamientos K+) originó en los tres tipos de hojas registros menores de SPAD (-10%) que los tratamientos K- entre CC y FC. Esto se explica a través de la competencia que existe entre el potasio y el magnesio, donde altos niveles del primer elemento pueden originar deficiencias en el segundo, siendo éste el átomo central de la molécula de clorofila.

Por su parte, un menor nivel de fósforo provocó en las hojas viejas un escaso (en FC,  $\approx <5\%$ ) o nulo (en CC) efecto sobre los valores de SPAD. La deficiencia de fósforo detiene progresivamente el crecimiento aéreo de la planta, al disminuir la concentración del elemento en la materia seca y así la máxima actividad fotosintética. La disminución en el crecimiento resulta entonces más de una carencia de fósforo para la biosíntesis de nuevos tejidos (expansión foliar) que por una caída en la fotosíntesis (Le Bot et al., 1998).

En general se verificó un aumento en el contenido de clorofila hacia el comienzo de cosecha y luego una disminución durante fructificación, excepto para las hojas viejas. En las hojas maduras y jóvenes no hubo diferencias entre tratamientos N+ y N-, alcanzando

las primeras los valores más altos alrededor de comienzo de cosecha. Las hojas jóvenes mantuvieron un valor relativamente alto de clorofila en todo el ciclo del cultivo. En las hojas viejas hubo diferencias entre tratamientos N+ y N-, si bien presentaron en todas las etapas contenidos de clorofila cercanos a la mitad del registrado para las hojas jóvenes y maduras,

En todos los tratamientos el porcentaje de nitrógeno estuvo por encima del correspondiente a la concentración crítica de ese elemento, que es el contenido de nitrógeno total requerido para lograr la máxima tasa de crecimiento del cultivo (Justes et al., 1994). Tei et al. (2002) calcularon dicho valor para un cultivo de tomate para industria como  $\%N_{\text{conc.critica}} = 4,53 \text{ MS}^{-0,327}$  para una situación con buena disponibilidad de nitrógeno, y como  $\%N_{\text{conc.critica}} = 3,90 \text{ MS}^{-0,270}$  con deficiencia de ese elemento, siendo MS la materia seca acumulada. Ello explicaría en buena medida la similitud en las biomásas totales y los rendimientos obtenidos entre tratamientos.

El contenido de clorofila total, expresado como  $\mu\text{g cm}^{-2}$  de tejido foliar, difirió en cada tratamiento entre las hojas jóvenes y las hojas maduras. Estas diferencias fueron mayores en la medida que era mayor la disponibilidad de N, registrándose así valores de 4,30, 5,19 y 6,19  $\mu\text{g cm}^{-2}$  superiores en las hojas jóvenes para N50, N100 y N200 respectivamente (Tabla 4.3.). A pesar de presentar un distinto espesor de hoja (apartado 4.2.3.1.3), igual resultado fue encontrado al expresar el contenido de clorofila total como  $\mu\text{g g}^{-1}$  de tejido foliar, siendo en este caso las diferencias entre hojas de igual desarrollo y diferente tratamiento de 572, 623 y 802 para N50, N100 y N200, respectivamente (Tabla 4.3.).

A diferencia de lo hallado en otros experimentos donde el contenido de clorofila en hojas difirió no sólo entre tratamientos con distinta disponibilidad de N (Hebbar et al.,

2004), sino también entre hojas de diferente edad (Clozza, 2005), en este experimento se verificó que para la etapa de plena producción el contenido de clorofila total medida en las hojas jóvenes fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) que en las hojas maduras, sin embargo no existieron diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo (Tabla 4.3).

La senescencia de las hojas se acelera ante la remoción de los frutos (Hall y Brady, 1977), mientras que durante el desarrollo de los mismos el ritmo fotosintético permanece estable. Al momento de la medición de clorofilas, tanto las hojas jóvenes como las maduras funcionaban como fuentes de fotoasimilados, dado que se hallaban próximas a un racimo con flores y/o frutos, y todos los tratamientos se encontraban en el período de producción (García Luis y Guardiola, 2008). Al cortar el ápice caulinar y continuar con el desbrotado se manejó a este cultivo como de tipo determinado, quedando definido el número de racimos florales y limitando la aparición de nuevas hojas. Las remanentes (8 a 9 hojas) actuaron como fuente de los tres racimos definidos por la poda de conducción. Es probable que por ello las hojas no hayan senescido ante un estrés de N (Sadras et al., 2000).

Las mayores tasas fotosintéticas para hojas de tomate se obtienen con una concentración tisular de  $38 \text{ mg N g}^{-1}$  y con valores de nitrógeno foliar específico de  $2,0 \text{ g N m}^{-2}$  (Scholberg, 1996). En nuestro experimento los valores fueron de  $28 \text{ mg N g}^{-1}$  y de  $1,4 \text{ g N m}^{-2}$  para los tratamientos N+, y de  $26 \text{ mg N g}^{-1}$  y de  $1,25 \text{ g N m}^{-2}$  para los N-. Esto indica que no alcanzaron la máxima capacidad fotosintética ( $\approx < 70\%$ ), pero tampoco existieron diferencias entre tratamientos.

La clorofila a es más rápidamente degradada que la clorofila b. Consecuentemente, la relación Clorofila a / Clorofila b debería adquirir un valor cada vez menor acompañando la senescencia de las hojas (Rudolph, 1934; Seybold, 1943; Egle, 1944). Gross (1991) señala que en las plantas superiores esta relación varía con las condiciones de

crecimiento y los factores ambientales, tales como la radiación, adquiriendo generalmente valores medios de 3, y constituyendo un parámetro del estado fisiológico vegetal. En este experimento no se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para esta relación, habiéndose alcanzado valores cercanos o superiores a 4 aún en el tratamiento N50 HM, donde a pesar de una menor disponibilidad de nitrógeno y una avanzada edad, la hoja no evidenció síntomas de senescencia a través de sus pigmentos fotosintéticos (Tabla 4.3.). Estos datos fisiológicos confirman que la actividad fotosintética se mantiene ante un desarrollo sostenido de los frutos.

En el tratamiento N100 la menor disponibilidad de nitrógeno en la solución nutritiva que en el N200 y la particular movilidad de este elemento en la planta llevaron los valores de AFE de sus hojas jóvenes a valores similares a los del tratamiento N200, haciéndolo a expensas de la removilización del nitrógeno existente en sus hojas maduras desde etapas tempranas del cultivo. Esto evidenció el comportamiento como sumideros de las hojas categorizadas como jóvenes. En el tratamiento N50 la respuesta fue diferente. En el caso de las hojas jóvenes, un mecanismo como el descrito anteriormente permitió alcanzar valores de AFE similares entre tratamientos. Sin embargo, para las hojas maduras de N50, la removilización de nitrógeno llevó la lectura de SPAD a valores menores (Tabla 4.2.), evidencia de una menor concentración tisular de ese elemento. Los valores de AFE hallados coinciden con los del trabajo de Scholberg et al. (2000), donde citan un rango de entre 150 y 250  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  para el tratamiento testigo, llegando a 200 - 370  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  para los fertilizados con nitrógeno.

La clorofila y los polifenoles en hoja están fuertemente correlacionados con su concentración de nitrógeno. Ante una mayor disponibilidad de este elemento el contenido de clorofila aumenta mientras que el de polifenoles decrece, indistintamente del estado ontogénico de la planta, por lo que pueden ser considerados como pruebas del nivel de

nutrición nitrogenada del cultivo. En este experimento se pudo identificar la existencia de un déficit de nitrógeno en plantas de tomate a través de la medición de los polifenoles contenidos en sus hojas. Si bien en general los valores medidos se relacionaron en forma inversa con la disponibilidad de nitrógeno, existieron diferencias entre hojas de distinta edad. En las hojas maduras el tratamiento N200 evidenció una baja presencia de polifenoles, mientras que los tratamientos N50 y N100 presentaron altos contenidos de polifenoles, sugiriendo un mayor estrés nutricional. Para las hojas jóvenes el modelo fue similar, a diferencia de que en el tratamiento N100 presentaron menor contenido de polifenoles que en el N50, y similar al N200 (Tabla 4.3.). Esta distinta respuesta en el tratamiento N100 se atribuye a que las hojas jóvenes se comportaron como sumideros de este nutriente móvil, manteniendo un nivel relativamente alto de nitrógeno en sus tejidos a través de la removilización de este elemento desde las hojas maduras, lo que posibilitó su crecimiento. Las hojas maduras del tratamiento N100, por su parte, presentaron altos contenidos de polifenoles, consecuencia de la removilización mencionada del nitrógeno existente en ellas desde etapas tempranas de su desarrollo.

Ante la diferente respuesta hallada en el contenido de clorofila y polifenoles frente a distinta disponibilidad de nitrógeno y edad de la hoja, se analizó la relación entre ambos parámetros (Tabla 4.3.). Esta relación clorofila/polifenoles explicó más ajustadamente lo señalado respecto a un estrés nutricional. Los valores mayores se verificaron para las hojas jóvenes con un buen suministro de nitrógeno, ya sea por mayor presencia de ese elemento en la solución nutritiva (N200) o por removilización del elemento desde otras hojas ya expandidas (N100). Los valores menores de esta relación, tanto por contenido menor de clorofila como mayor de polifenoles, correspondieron a las hojas maduras de los tratamientos N50 con baja disponibilidad de nitrógeno, y N100, donde las hojas actuaron

como fuente del elemento. Las hojas jóvenes del tratamiento N50 y las maduras del N200 lograron valores intermedios.

El mayor valor de EUR correspondió a los tratamientos nPK y NPK, representando un 30% por encima de los tratamientos que alcanzaron las menores eficiencias. El tratamiento NPK registró tanto el mayor valor de biomasa total (25% mayor que la media) a través de una mayor biomasa foliar, con la consecuente elevada eficiencia de interceptación, como de PAR<sub>i</sub> acumulada durante el ciclo, aunque ésta en una menor proporción (6% mayor que la media). Por su parte, la biomasa generada por el tratamiento nPK estuvo por encima de la media, mientras que la radiación interceptada fue mucho menor como consecuencia de una menor área foliar desde estadíos iniciales del cultivo (Tabla 4.4.). En este ensayo la EUR no se vio afectada ante la deficiencia de nitrógeno, alcanzando valores similares para los N+ (1,35 g MJ<sup>-1</sup>) y los N- (1,38 g MJ<sup>-1</sup>). Estos valores están por encima del rango indicado por Scholberg et al. (2000) como de situación óptima (0,81 a 1,25 g MJ<sup>-1</sup>), lo que se relaciona con los altos contenidos de clorofila medidos en hojas fotosintéticamente activas durante el período de producción (Tablas 4.3. y 4.4.). Los valores de EUR registrados en este experimento conducido en contraestación fueron menores que los encontrados por Heuvelink (1995), que llegaron a 2,95 g MJ<sup>-1</sup>. Ante una similar eficiencia de interceptación (apartado 4.2.3.1.1.), la principal diferencia radicó en la radiación global incidente en cada situación; mientras para estos experimentos alcanzó los 710 MJ m<sup>-2</sup>, en los de Heuvelink superó los 1300 MJ m<sup>-2</sup>.



### 4.3. PARTICIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO

#### 4.3.1. Introducción

A través de su modelo de simulación dinámica del crecimiento y desarrollo de un cultivo de tomate, Heuvelink (1999) demostró que la radiación global incidente, la concentración de CO<sub>2</sub>, el área foliar específica y la edad de las hojas tienen una gran influencia sobre la tasa de crecimiento del cultivo, mientras que la temperatura, el número de frutos por racimo y la densidad de plantación son menos importantes.

La distribución de asimilados entre diferentes órganos en crecimiento está regulada por su propia actividad de estos mismos sumideros (Gifford y Evans, 1981; Ho, 1988). Este comportamiento se ha constatado para numerosos cultivos de interés por sus frutos, por ejemplo en pepino (Marcelis, 1993), berenjena, pimiento (Hall, 1977) y tomate (De Koning y De Ruiter, 1991). Todos los sumideros obtienen los recursos para su crecimiento de un conjunto común de asimilados. Diariamente, el total disponible es distribuido entre el número total de sumideros por planta de acuerdo a su actividad o fuerza relativa, definida como su tasa potencial de crecimiento, en relación a la fuerza total de todos los sumideros presentes en la planta. Para la partición entre las estructuras vegetativas, Heuvelink (1999) estableció en su modelo de simulación para tomate una relación de 7:3:1,5 para hojas, tallo y raíces, respectivamente. Bertin (1995) señaló para el mismo cultivo que la fuerza como sumidero de los frutos depende de la posición de la inflorescencia en el tallo y de la posición del fruto dentro de la inflorescencia. Los frutos distales tienen una menor fuerza que los proximales, estando así en desventaja frente a la competencia por asimilados. El efecto de la posición de la inflorescencia es muy limitante para los frutos distales, y es así que el tamaño final de estos frutos es generalmente menor que el de los proximales.

El índice de cosecha generalmente disminuye al aumentar la fertilización nitrogenada, pero las tendencias no son consistentes. En tomate, Scholberg et al. (2000) han verificado que una mayor disponibilidad de nitrógeno origina inicialmente una menor partición de asimilados hacia los frutos y favorece el crecimiento vegetativo prolongándolo. Consecuentemente, los valores de índice de cosecha varían con las condiciones de crecimiento, determinándose para esta especie valores entre 0,50 y 0,66 para distintos ambientes (Heuvelink, 1995).

Para obtener un alto rendimiento es importante una alta asignación de asimilados a los frutos. Sin embargo, como para los cultivos de comportamiento indeterminado ha de contarse con la deriva de asimilados al crecimiento de nuevas hojas, responsables de la interceptación de luz en estadíos posteriores, una alta asignación de carbohidratos a los frutos afectará, indirectamente, la capacidad de producción futura. Además, una alta carga de frutos, y con ello una baja relación fuente-sumidero, puede resultar en el aborto de flores y/o frutos (Marcelis, 1994; Bertin, 1995; Agustí, 2008).

En tomate la iniciación de las flores se retrasa cuando existen deficiencias en la nutrición mineral de la planta, particularmente de nitrógeno, fósforo y potasio, pudiendo provocar incluso el aborto de las mismas. Ese retraso podría ser debido a un retraso general del crecimiento y del desarrollo de la planta más que a un efecto específico sobre la floración (Nuez, 1995). Niveles elevados de nitrógeno aumentaron el número de flores y el rendimiento de frutos y semillas (Varis y George, 1985). Existe una correlación negativa entre la radiación recibida en una fase inicial del cultivo (plantín) y el tiempo hasta la cosecha, mientras que una mayor precocidad en floración y maduración también se asocia a altos niveles de nitrógeno (Varis y George, 1985). La relación P/K origina una floración más precoz cuando es elevada o un mayor porcentaje de establecimiento de frutos cuando es baja (Varis y George, 1985).

Una vez que se ha desarrollado la primera inflorescencia, las siguientes aparecen cada tres hojas (Heuvelink, 1996). El suministro de asimilados desde una hoja madura al fruto depende de su posición en el tallo (Nuez, 1995). Durante la floración, este suministro proviene fundamentalmente de las dos hojas situadas por debajo de la inflorescencia (Bonnemain, 1965). En la fructificación, la fuente de ese racimo todavía lo constituyen fundamentalmente esas dos hojas inferiores, pero también la hoja inmediatamente superior (Bonnemain, 1966). El sumidero de los asimilados de la hoja que abastece a los órganos en crecimiento cambia durante el desarrollo de la planta. Cuando la primera inflorescencia está en antesis, este sumidero lo constituyen el tallo y las raíces. Cuando los tres primeros racimos con frutos están creciendo rápidamente, se convierten en sumidero, abasteciéndose de las hojas medias, mientras el ápice lo hace de las hojas superiores y las raíces de las inferiores (Kahn y Sagar, 1967; Nuez, 1995). Durante la fructificación también existe competencia por fotoasimilados entre los racimos. Cuando la disponibilidad de fotoasimilados es limitante, el crecimiento de un racimo en fructificación puede suprimir la floración de los racimos siguientes (Ho, 1996).

El rendimiento de tomate en invernadero se relaciona directamente con la cantidad de radiación solar total interceptada por el cultivo a lo largo de su ciclo (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997), provocando el sombreado una reducción en el tamaño del fruto y en la acumulación de azúcares. El incremento mayor en el peso medio del fruto ocurre cuando se aumenta la radiación desde el establecimiento del fruto hasta el estado verde-maduro, o sea durante el período de máximo crecimiento. Cockshull et al. (1992) señalan para este cultivo una relación directa entre el rendimiento acumulado y la radiación solar acumulada, registrando valores de 20,1 g fruto fresco  $\text{MJ}^{-1}$  de radiación solar incidente en las primeras 14 semanas y de 26,5 g fruto fresco  $\text{MJ}^{-1}$  durante el resto del ciclo. En Holanda, De Koning (1989) obtuvo una eficiencia en el uso de la radiación de 20,7 g fruto

fresco MJ<sup>-1</sup>. Valores de radiación total diaria en torno a 0,85 MJ m<sup>-2</sup> son los umbrales considerados mínimos para la floración y el cuajado, siendo preferible mayor iluminación en menor período de tiempo que iluminaciones más débiles durante más tiempo (Nuez, 1995). La densidad de plantación y la conducción y el manejo del cultivo deben dirigirse a optimizar la intercepción de radiación.

Aunque el rendimiento en tomate puede ser limitado por el suministro de asimilados (fuerza de la fuente), el rendimiento potencial está determinado por el número y tamaño de los frutos (fuerza del sumidero) (Ho, 1996).

### **4.3.2. Metodología específica**

#### **4.3.2.1. Muestras**

Sobre las 11 plantas de cada tratamiento del experimento 3 se identificaron tres etapas fenológicas de interés: (i) etapa vegetativa, (ii) comienzos de floración, fructificación y maduración, y (iii) inicio y fin de cosecha. Se registró la generación de las estructuras reproductivas en cada planta, obteniendo así los distintos componentes del rendimiento: número de racimos florales por planta, número de flores por racimo, porcentaje de establecimiento de frutos, número de frutos por racimo, y peso de los mismos.

#### **4.3.2.2. *Tiempo térmico (TT)***

Este índice fenológico fue calculado como la sumatoria de las temperaturas efectivas a lo largo de una fase (ecuación 12)

$$TT = \sum_{i=1}^{i=n} (T_{md} - T_b) \quad (12)$$

donde  $T_{md}$  es la temperatura media diaria  $[(T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}) / 2]$ , y  $T_b$  es la temperatura base de desarrollo, 7 °C para esta especie (Pascale y Damario, 2004). Unidades en grados centígrados día (°Cd).

#### **4.3.2.3. Rendimiento e Índice de cosecha**

Se realizaron cosechas semanales de frutos maduros ( $n = 968$ ), identificándolos por tratamiento y posición dentro de la planta (racimo 1 o racimo 2), y obteniendo el peso seco. Dada la dificultad de un seguimiento *in situ* del crecimiento del fruto y la imposibilidad de un registro en base a muestreos destructivos, se utilizó el modelo desarrollado en el apartado 4.1.3.3., basado en la relación alométrica para predecir el peso del fruto a través de su diámetro mayor. El índice de cosecha se calculó como la relación entre el rendimiento (suma de los pesos secos de los frutos) y la biomasa total aérea de cada una de las plantas

#### **4.3.2.4. Tasa de crecimiento del cultivo y tasa de crecimiento de los frutos**

El ritmo de acumulación de biomasa aérea total, expresado por unidad de área y de tiempo, fue calculado para todo el ciclo del cultivo hacia el final del mismo, a través de la ecuación 13:

$$TCC = \text{Biomasa total aérea} \text{ Duración del ciclo del cultivo}^{-1} \quad (13)$$

Del mismo modo se calculó la tasa de crecimiento de los frutos, relacionando el rendimiento final y la duración del período de desarrollo de los frutos (ecuación 14)

$$TCF = \text{Rendimiento acumulado total} \text{ Duración del desarrollo de los frutos}^{-1} \quad (14)$$

### **4.3.3. Resultados**

#### **4.3.3.1. Partición de Biomasa**

##### **4.3.3.1.1. Índice de cosecha**

La distinta disponibilidad de nutrientes provocó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los índices de cosecha. La media fue de 0,44, presentando el tratamiento nPK el mayor valor como consecuencia de un rendimiento que superaba la media en un 14%, con una producción de biomasa total que fue un 7,5% mayor que la media. El NpK alcanzó el menor valor de IC, debido a una reducción del 18% respecto a la media en su rendimiento (Tabla 4.4.).

Contrariamente a otros autores (Mahmoud y George, 1984; Wien y Minotti, 1988), para las condiciones del presente trabajo no se encontraron diferencias en el rendimiento entre tratamientos N+ y N- (120,5 y 121,5 g.pl<sup>-1</sup>, respectivamente). Sin embargo existen tratamientos con mayor (NPK y nPK) y con menor (NpK) nivel de producción por planta, lo que indicaría que los rendimientos estarían afectados no sólo por una disponibilidad suficiente de nitrógeno, fósforo o potasio sino también por el equilibrio entre los niveles de estos nutrientes (Nuez, 1995; Quaggio et al., 2002).

El potasio es citado por Adams (1994) como el nutriente más importante en la determinación del número y la calidad de frutos en el tomate, habiendo hallado una relación entre el número de frutos por planta y la concentración de potasio aplicada. Coincidiendo con este autor, los tratamientos K+ tuvieron mayor rendimiento (+17%) que los K-, a excepción del NpK que presenta baja disponibilidad de P y alta de N.

Los tratamientos con mayor disponibilidad de fósforo (P+) presentaron en promedio un mayor rendimiento que los P- (111,5 y 130 g pl<sup>-1</sup>, respectivamente), si bien no se evidenció esta diferencia en sus índices de cosecha.

#### 4.3.3.1.2. Generación de tallos, hojas y frutos

La distinta disponibilidad de nutrientes provocó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la partición de la biomasa total. De acuerdo a lo descrito por varios autores (Kato y Tanaka, 1971; Hall, 1977; De Koning, 1989; Marcelis, 1992; Heuvelink, 1996), los frutos y las estructuras vegetativas compitieron por los asimilados, mostrando la partición de los mismos un patrón cíclico en función del estado de desarrollo, siendo más notorio en nuestro caso por tratarse de un cultivo indeterminado (Fig. 4.14.).

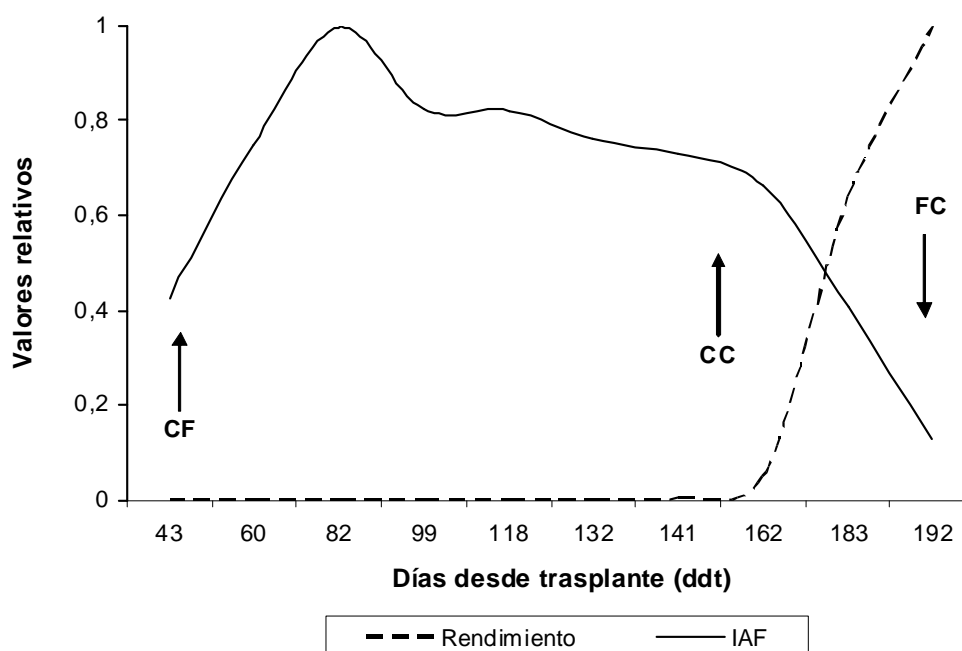


Figura 4.14. Evolución del IAF y el rendimiento acumulado. Abreviaturas como en Figura 4.6.

#### 4.3.3.1.3. Tasa de crecimiento

Ante igualdad de radiación global incidente y duración del ciclo, la TCC estuvo definida por el PARI y la EUR, difiriendo significativamente ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos (Tabla 4.5.).

Tabla 4.5. Tasas de crecimiento del cultivo y de los frutos

| Tratamiento nutricional | npk     | npK     | nPk     | nPK    | Npk     | NpK    | NPk     | NPK    | Media |
|-------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|
| TCC                     | 1,38 bc | 1,29 c  | 1,34 c  | 1,54 b | 1,43 bc | 1,31 c | 1,37 c  | 1,79 a | 1,43  |
| TCF                     | 2,27 cd | 2,20 de | 2,38 cd | 2,76 b | 2,49 c  | 1,97 e | 2,20 de | 3,06 a | 2,42  |

**TCC:** tasa de crecimiento del cultivo ( $\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ); **TCF:** tasa de crecimiento de los frutos ( $\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ). Letras distintas dentro de cada fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Los valores de TCC fueron calculados para todo el ciclo del cultivo hacia el final del mismo y los de TCF para el período de desarrollo de los frutos, por lo que corresponden a la media de los registrados en sus distintos estadios de desarrollo.

#### 4.3.3.2. Rendimiento

##### 4.3.3.2.1. Evolución del rendimiento

El rendimiento acumulado por planta, promedio de todos los tratamientos, expresado en función del tiempo térmico desde el trasplante, presentó una tendencia positiva y constante (Figs. 4.15. y 4.16.).

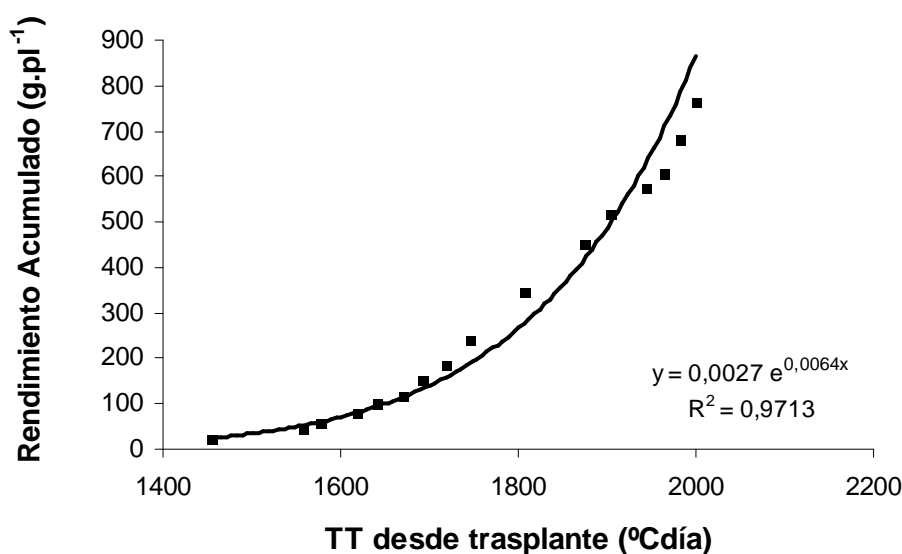


Figura 4.15. Rendimiento acumulado por planta (expresión exponencial)



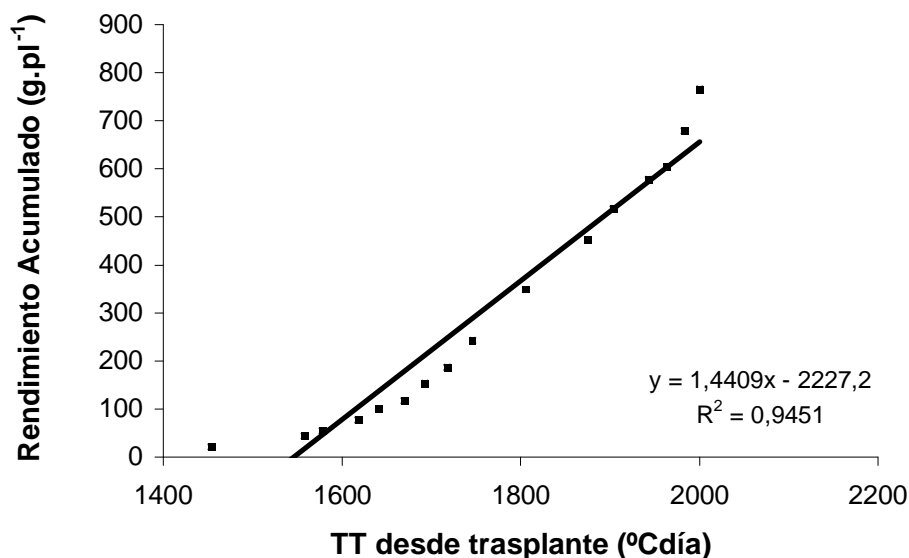


Figura 4.16. Rendimiento acumulado por planta (expresión lineal)

Si bien ambas funciones tienen un alto grado de ajuste, el gráfico de función lineal es el que se asemeja a la realidad productiva. A medida que avanza el ciclo del cultivo se inicia la cosecha del racimo 2, superponiéndose con la correspondiente al racimo 1, en el que aún no han crecido y madurado todos sus frutos, evidenciando la competencia entre sumideros (Bangerth, 1989; Ho, 1996). Al entrar en producción el racimo 3, ocurre algo similar con el racimo 2, no existiendo ya prácticamente frutos en el racimo 1.

El primer dato de cosecha se registró a los 1450 °Cdía desde el momento del trasplante, aunque comenzó a generar aumentos constantes en su rendimiento unos 100 °Cdía posteriores, con una tasa de 1,44 g pl<sup>-1</sup> de fruto fresco por cada °Cdía acumulado (Fig. 4.14.).

#### 4.3.3.2.2 Partición del rendimiento

El período de cosecha pudo ser caracterizado en dos etapas bien definidas. Una primera que va desde el comienzo de cosecha hasta los 181 ddt, abarcando unos 420

°Cdía; y una segunda etapa hasta finalizar el ciclo del cultivo a los 192 ddt, sumando 125 °Cdía (Fig. 4.17.).

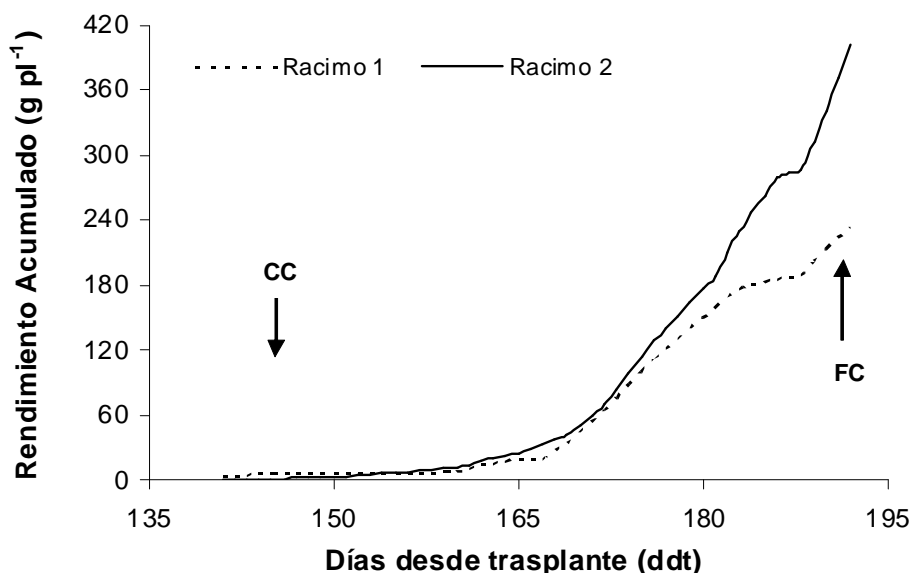


Figura 4.17. Evolución del rendimiento acumulado en el fruto por racimo. Abreviaturas como en Figura 4.6.

#### 4.3.4. Discusión

Las diferencias entre los IC fueron contrastantes entre los tratamientos N+ (IC: 0,42) y N- (IC: 0,45). Un adecuado suministro de N determinó un mayor ritmo de crecimiento vegetativo del cultivo, habiéndose registrado los mayores valores de IAF (Fig. 4.6.). Al respecto, Nuez (1995) indica que una alta disponibilidad de nitrógeno pero en desequilibrio con otros macronutrientes, en particular con el potasio, produciría un vigor excesivo en el período inicial del desarrollo, lo que podría dificultar la formación del fruto. Por su parte, Scholberg et al. (2000) verificaron que una mayor disponibilidad de nitrógeno originó inicialmente una menor partición de asimilados hacia frutos y favoreció el

crecimiento vegetativo prolongando esta etapa. Consecuentemente, los valores de IC varían con las condiciones de crecimiento, habiendo determinado Heuvelink (1995) valores entre 0,50 y 0,66 para distintos ambientes. Los menores valores de IC en este trabajo se originan en la forma de conducción determinada del cultivo al haber cortado el ápice de las plantas a la altura del tercer racimo, favoreciendo de este modo un relativo mayor desarrollo vegetativo inicial.

Desde el comienzo de la floración (43 ddt) hasta el cuajado de los primeros frutos (82 ddt) en los dos primeros racimos, las plantas estaban en pleno desarrollo vegetativo, expresado a través de su máxima tasa de expansión foliar (pendiente de la recta tangente a la curva de evolución del IAF en la Fig. 4.14.). A partir del cuajado en el primer racimo, el consecuente crecimiento de los frutos originó una nueva distribución de asimilados que condujo a la senescencia de las primeras hojas generadas en el cultivo al tiempo que las de nueva formación alcanzaban un tamaño medio menor (Tabla 4.1.).

Entre los 100 y 150 ddt el IAF se estabiliza en un 75 a 80% del valor máximo alcanzado en etapas iniciales, constituyendo esta área foliar la fuente de fotoasimilados de los frutos en crecimiento, principales sumideros durante este período. Es por ello que las hojas no senescieron siquiera en los tratamientos N- ya que, de acuerdo a lo analizado para el contenido de clorofila (Fig. 4.13 y Tabla 4.3.) y las lecturas de SPAD (Tabla 4.2.), la capacidad fotosintética por unidad de área foliar no se redujo. Es así que durante el desarrollo de los frutos el ritmo fotosintético permaneció estable, como fue demostrado a través del análisis de clorofilas y la relación Clorofila a / Clorofila b, aspectos fisiológicos que corroboran la hipótesis del mantenimiento de la capacidad fotosintética ante un sostenido desarrollo de los frutos (apartado 4.2.3.1.2.).

A partir del comienzo de la cosecha (ca. 150 ddt), la remoción de los frutos maduros disminuyó la tasa fotosintética de las hojas más próximas y que constituían su

fuelle, iniciando éstas su senescencia y provocando la disminución del IAF (Fig. 4.14.). Marcelis (1991) señala que la disminución de la fotosíntesis por eliminación de frutos es un efecto de la senescencia acelerada como consecuencia de dicha remoción. Hall (1977) y Hall y Brady (1977) demostraron que la senescencia foliar en pimiento era acelerada por la remoción de frutos, y que la fotosíntesis permanecía estable durante el crecimiento de los mismos, mientras que disminuía continuamente en plantas sin sumideros reproductivos.

Los mayores valores de TCC se ubican entre los 82 ddt y 160 ddt, período que va de cuajado a comienzo de cosecha, en el cual se alcanzan los mayores valores de IAF (entre 0,7 y 1) y de  $e_i$  ( $> 0,85$ ). También durante esa etapa se logra la máxima EUR al ser máxima la capacidad fotosintética como consecuencia de la relación fuente-sumidero ante un sostenido desarrollo de frutos. Previo a este período, en comienzo de floración, la TCC es menor debido a bajos valores de IAF (0,4) y  $e_i$  (0,6). A partir del comienzo de cosecha, como consecuencia de la remoción de los frutos maduros, disminuye la TCC al disminuir el IAF (no la  $e_i$ , Fig. 4.14.) y la tasa fotosintética (menor cantidad de clorofila en hoja hacia fin de cosecha, Fig. 4.13.). El tratamiento NPK alcanzó una TCC superior en un 25% a la media, indebido a sus mayores valores de EUR y  $PARI$ . Con un  $PARI$  similar o superior a la media, pero con menores EUR (-13%) y BT (-10%), los tratamientos npK y NpK tuvieron menor ritmo de crecimiento (Tablas 4.4. y 4.5.).

Al igual que para la TCC, la mayor TCF se verificó para el NPK, y se debió a una alta TCC (Tabla 4.5.) y un IC igual a la media (Tabla 4.4.). Ante una misma partición de fotoasimilados, un mayor ritmo de crecimiento de la planta conlleva a un mayor ritmo de acumulación en frutos. Los menores valores de TCF se hallaron para los tratamientos NpK y NPK, como consecuencia tanto de bajas TCC y BT como de un IC menor a la media. El tratamiento npK también presentó una baja TCF, dado sus bajos valores de

TCC y BT, aunque con un IC similar a la media. A diferencia de la TCC, que como se explicó fue menor en etapas iniciales y finales del ensayo, la TCF, pendiente de la curva de rendimiento acumulado, se mantuvo constante durante el período de cosecha entre los 150 ddt y 192 ddt (Fig. 4.14.), siendo la media de  $2,42 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  expresada como biomasa seca de fruto, lo que equivale a  $15 \text{ g pl}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de fruto fresco, y una acumulación diaria de temperaturas efectivas de  $10 \text{ °Cdía}$ .

Hacia fin de cosecha, a los 192 ddt, el cultivo acumulaba  $2000 \text{ °Cdía}$  desde el trasplante, alcanzando un rendimiento cercano a los 650 g de fruto por planta, valor aceptable considerando que sólo contó con dos racimos florales y fue desarrollado durante la contraestación, con una temperatura media de  $17 \text{ °C}$  durante el período de desarrollo de los frutos (Varis y George, 1985).

La distribución de carbohidratos dentro de la planta es controlada por la actividad tanto de las fuentes como de los sumideros, y su vascularización (Ho, 1996; García Luis y Guardiola, 2008). Cuando la disponibilidad de asimilados es menor que la demanda total de los mismos, situación generada aquí al eliminar brotes laterales, la competencia entre sumideros se convierte en el factor determinante en el control de la distribución de carbohidratos, donde el crecimiento de racimos en fructificación (racimos 1 y 2) casi suprimió la floración y el cuajado del siguiente (racimo 3) (Ho, 1996). Es así que el corte apical de las plantas a la altura del tercer racimo afectó el normal desarrollo del mismo, reduciéndole el número de flores y haciendo despreciable su rendimiento, razón por la cual serán considerados solamente los racimos 1 y 2 en el análisis del rendimiento.

El rendimiento acumulado por planta presentó una tendencia positiva y constante. De considerarse como adecuado el gráfico de tipo exponencial (Fig. 4.15.), en la medida que comienza la cosecha en los sucesivos racimos se iría incrementando su ritmo de producción, lo que no consideraría la competencia entre frutos de distintos racimos ni la

ausencia de órganos de cosecha en los primeros racimos. Por lo tanto, una tendencia lineal del rendimiento acumulado en función del tiempo térmico sería la que mejor lo explica (Fig. 4.16.).

La dinámica en el establecimiento y crecimiento de los frutos estuvo definida por la competencia por asimilados entre frutos, lo cual concuerda con lo hallado por otros autores (Bertin, 1995). Como observó De Koning (1989), los frutos pueden comenzar a crecer luego de un período de latencia de varias semanas, tan pronto como los otros frutos en crecimiento maduran y dejan de ser sumideros importantes.

El inicio de cosecha fue similar para los racimos 1 (141 ddt) y 2 (155 ddt). En la primera etapa el ritmo de cosecha fue prácticamente igual, ya que fueron similares tanto el número de frutos cosechados por racimo (2 frutos/racimo 2 vs 1,8 frutos/racimo 1), como el peso medio de los mismos (5% superior en el racimo 2), alcanzando hacia el final de esta etapa el racimo 2 un 18% más de producción que el racimo 1. La segunda etapa presenta distinto comportamiento para los dos racimos que se origina principalmente en el número de frutos cosechados, duplicándose éste para el racimo 2 (5,3 frutos en racimo 2 vs 2,7 frutos en racimo 1), además de mantenerse la diferencia en el peso medio de los mismos de un 5% a favor del racimo 2. A partir de los 181 ddt la acumulación del rendimiento continúa constante para el racimo 2, presentando el racimo 1 una meseta, como consecuencia de la marcada competencia impuesta por el racimo 2, principal responsable de la distribución de carbohidratos. La remoción de los frutos maduros en el racimo 1 disminuyó la tasa fotosintética de las hojas que constituían su fuente (Hall, 1977; Hall y Brady, 1977; Marcelis, 1991; Salisbury y Ross, 1994; García Luis y Guardiola, 2008), iniciando así su senescencia y la disminución del IAF (Figs. 4.6. y 4.14.), con la consecuente disminución de asimilados disponibles respecto a la demanda total de los

mismos. El ritmo de cosecha en el racimo 1 se restablece a partir de los 187 ddt, como consecuencia de la menor competencia del racimo 2 al habersele extraído frutos.

La diferencia en el peso de los frutos entre los dos racimos se mantuvo prácticamente constante en todo el período de cosecha. En la segunda etapa se registró un menor peso medio, inferior en un 22% a la primera etapa, en ambos racimos, atribuible a un mayor número de frutos por llenar y una menor fuente. Por otro lado, la segunda etapa se caracterizó por una temperatura media 3 °C mayor a la primera etapa, lo que podría haber contribuido a acelerar el ritmo de maduración de los frutos, viéndose afectado así su peso final.





## 4.4. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE FRUTOS Y SU CALIDAD

### 4.4.1. Introducción

El establecimiento de frutos ha sido definido como la transición entre la apertura floral y el inicio del crecimiento del fruto (Stephenson, 1981), o por la proporción de flores que llegan a antesis y producen frutos de tamaño normal (Picken, 1984). El proceso que marca la transición del ovario de la flor al fruto en desarrollo se denomina cuajado (Agustí, 2008). Previo a la antesis la inflorescencia puede abortar, principalmente como consecuencia de la competencia por fotoasimilados entre el ápice vegetativo y la última inflorescencia iniciada (Kinet et al., 1978; Kinet y Leonard, 1983; Leonard et al., 1983). Sin embargo, el número de frutos estaría más limitado por la disponibilidad de recursos que por la morfología o el número de flores (Stephenson, 1981). De Koning (1989) señala que el crecimiento del racimo puede verse retrasado cuando la competencia por asimilados es alta, y recuperarse cuando los frutos de los primeros racimos llegan a madurez. De acuerdo a Stephenson (1981), los reguladores del crecimiento pueden jugar un papel importante en la diferenciación de frutos jóvenes y en la removilización de asimilados, pero la disponibilidad de éstos es el factor limitante en el establecimiento de frutos. Con aplicación exógena de auxinas, Abad y Monteiro (1989) lograron un mayor número de frutos que, inicialmente, no llegaban a un tamaño comercial. Sin embargo, el suministro de auxinas llevó a que los frutos que se habían iniciado primero inhibieran el establecimiento de otros, lo que provocó un aumento en su tamaño y precocidad, originando un mayor rendimiento.

Para este cultivo se ha establecido el sistema de conducción a un solo tallo como el más simple al momento del tutorado, lo que origina la necesidad del desbrotado, práctica que consiste en la remoción regular de los brotes laterales, originados en las yemas

axilares. Según Navarrete y Jeannequin (2000) la frecuencia del desbrotado afecta tanto el crecimiento vegetativo como el rendimiento. Según estos autores, cuando se realiza el desbrotado cada 21 días, el diámetro del tallo y el número de frutos por planta se reducen, mientras que con una frecuencia de 7 días se reduce el crecimiento vegetativo pero no el rendimiento. La frecuencia en el desbrotado determina el desarrollo de los tallos axilares que permanecen en la planta, y con ello la demanda de asimilados de estos órganos. Un tallo axilar joven, al igual que todo órgano joven, es un sumidero importante y utiliza los asimilados producidos por las hojas del tallo principal. Al reducir esa frecuencia, la competencia por carbohidratos se mantiene elevada (Navarrete y Jeannequin, 2000). Hartmann (1977) halló una correlación negativa entre el rendimiento y el peso de los tallos axilares eliminados mediante desbrotado, lo que confirma que éstos compiten en su crecimiento con los frutos, por lo que una menor frecuencia en el desbrotado afectaría el rendimiento en forma negativa.

El rendimiento y el peso de los frutos se incrementan significativamente con mayor disponibilidad de N (Mahmoud y George, 1984). Aumentos en el suministro de N estimulan el desarrollo reproductivo bajo condiciones de alta irradiancia. En contraste, cuando la luz es limitante, un suministro excesivo de N inhibe el desarrollo de la floración y el establecimiento y formación de frutos. Esta observación constituyó la base de la hipótesis del control de la floración por la relación C/N: la fertilización nitrogenada debe ser ajustada a las condiciones de disponibilidad de luz. Nitrógeno en exceso origina un exagerado crecimiento vegetativo, y probablemente perjudique el desarrollo reproductivo al disminuir la fuerza como sumidero de flores e inflorescencias en relación con los tejidos vegetativos (Kinet y Peet, 1997). Un buen suministro de N determina el ritmo de crecimiento del cultivo, pero debe estar equilibrado con el K para evitar que se produzca un vigor excesivo en el período inicial del desarrollo, lo que podría dificultar la formación

del fruto. La deficiencia de K produce un acortamiento en el período de crecimiento del fruto y aumenta el valor máximo de la respiración climatérica, mientras que una elevada concentración del mismo puede ocasionar una reducción en la capacidad del cultivo para asimilar Mg, síntoma que, de presentarse, provoca una disminución en el rendimiento (Nuez, 1995). Por otra parte, el contenido y la acumulación de K en la biomasa aérea varían en relación directa con la concentración de K presente en la solución nutritiva, aunque no repercute sobre la producción de materia seca total y rendimiento de frutos en tomate.

La tasa de desarrollo de los frutos es altamente dependiente de la temperatura (Adams y Valdés, 2002), y en forma indistinta si es la planta entera o sólo los racimos los sometidos a mayores temperaturas (Adams et al., 2001). El tiempo térmico acumulado a partir del cuajado es una herramienta útil para predecir el ritmo de desarrollo de los frutos. Sin embargo, Aikman (1996) indica que esta aproximación no sería válida ante altas temperaturas, situación en la cual los frutos próximos a cosecha son más sensibles a este parámetro (De Koning, 1994; Adams et al., 2001).

El crecimiento acumulado del fruto sigue una curva sigmoidea, con una fase inicial de unas 2 semanas de crecimiento lento en la que se produce la división celular en el fruto. Le sigue un período de 3 a 5 semanas, caracterizado por un rápido aumento de volumen como consecuencia de la elongación celular, llegando hasta el estado verde maduro en el que ya ha adquirido su peso final. Tras una última etapa de otras 2 semanas de lento crecimiento, el fruto llega a su madurez comercial (Agustí, 2008). La translocación de asimilados hacia el fruto se produce hasta que el mismo presenta una coloración rojiza incipiente (fin de la segunda etapa) no siendo detectable durante la tercera fase de crecimiento (Kinet y Peet, 1997). La posición en el racimo y la secuencia de cuajado son factores determinantes en el tamaño final del fruto; generalmente los

frutos que se desarrollan en una posición proximal son más grandes que los distales (Kinet y Peet, 1997). El tamaño del fruto y el rendimiento dependen entonces de la distribución de carbohidratos dentro de la planta, la cual es controlada por la actividad tanto de las fuentes como de los sumideros, y su vascularización (Ho, 1996).

En tomate, los elementos N, P y K suponen más del 90% del contenido mineral. Durante el desarrollo del fruto, el N y el P disminuyen desde el 3% al 0,6% y del 2% al 0,4% de la materia seca, respectivamente, mientras que el K permanece constante alrededor del 3%, representando el 85% de los cationes en el fruto y siendo su acumulación proporcional a la de materia seca. Esta relación varía con la concentración de K en la solución nutritiva y las condiciones de cultivo. Un aumento en el suministro de K incrementa la acidez y la coloración del fruto (Nuez, 1995).

El contenido de materia seca del fruto de tomate, que de acuerdo a Davies y Hobson (1981) está entre el 5 y el 7,5%, está inversamente relacionado con el tamaño del fruto, y en forma directa con el contenido de azúcar total (Ho, 1996; Bertin et al., 2000). Cerca del 60-65% de la materia seca total del fruto consiste en azúcares reductores, principalmente glucosa y fructosa, y ácidos orgánicos, en su mayoría cítrico y málico, que tienen gran influencia en el sabor y el aroma del tomate (Davies y Hobson, 1981; Stevens, 1986). El contenido de carbohidratos en el fruto es uno de los parámetros más importante en su calidad, tanto para consumo en fresco como para procesado. Los niveles de azúcares solubles contribuyen fuertemente al contenido de sólidos solubles y al sabor del tomate (Stevens et al., 1977a, 1977b). Aunque el nivel de asimilados del fruto es producto de las interacciones entre las actividades de las fuentes y los sumideros, la cantidad de azúcares particionados hacia el fruto está controlada solamente por su propio metabolismo (Schaffer et al., 1999). Se puede aumentar el contenido de carbohidratos en el fruto mejorando la contribución de la fuente a la economía de los asimilados. Esto

puede verse, por ejemplo, en los efectos que la intensidad lumínica o la arquitectura del cultivo tienen sobre el contenido total de sólidos solubles en fruto (Schaffer et al., 1999).

El fruto de tomate es una importante fuente de antioxidantes, principalmente pigmentos como los antocianos, el licopeno o el  $\beta$ -caroteno, el ácido ascórbico y los polifenoles. El contenido de estos compuestos varía durante el proceso de maduración, modificando el valor nutricional y la actividad antioxidante del fruto (Lai et al., 2007). Los compuestos fenólicos o polifenoles son un gran grupo de metabolitos secundarios, cuya presencia en las plantas se relaciona con varios mecanismos de defensa. Es así que distintos factores del ambiente como la luz, la temperatura y la humedad, y otros internos como diferencias genéticas, estado nutricional y hormonas, contribuyen a su síntesis (Hahkonen et al., 2001). Los antocianos son pigmentos disueltos en vacuolas de los tejidos epidérmicos de flores y frutos, que les confieren el color rosado, rojo, púrpura y azul, siendo su concentración directamente proporcional a la intensidad del color (Divo de Sesar, 2005).

Existe una relación inversa entre la disponibilidad de N y la concentración de polifenoles en el tejido vegetal, originada en que la producción de proteínas y la de polifenoles comparten el mismo precursor, la fenilalanina, por lo cual toda condición favorable para la biosíntesis de proteínas resultará en una disminución de los polifenoles (Margna, 1977; Jones y Hartley, 1999). Se han propuesto varias hipótesis para explicar la relación entre la disponibilidad de N, la tasa de crecimiento y la presencia de polifenoles. Las hipótesis del balance carbono-nutriente (Coley et al., 1985) y del balance crecimiento-diferenciación (Herms y Mattson, 1992) argumentan que ante una baja disponibilidad de N, las plantas utilizan el exceso de carbono para la síntesis de polifenoles. El aumento en la concentración de N, de proteína y de aminoácidos libres observado en plantas con elevada disponibilidad de N está generalmente acompañado de un aumento en su

crecimiento. El modelo de competencia de Jones y Hartley (1999) predice que una gran demanda para la biosíntesis de proteínas como consecuencia de mayor cantidad de N y aumento en el crecimiento del cultivo, estará acompañada por una menor biosíntesis de polifenoles (Bragazza y Freeman, 2007). Es por ello que un elevado contenido de polifenoles en tejido es un estimador de deficiencia de N (Cartelat et al., 2005).

#### **4.4.2. Metodología específica**

##### **4.4.2.1. Componentes del rendimiento**

Sobre la totalidad de las plantas de cada tratamiento se registraron los distintos componentes del rendimiento: número de racimos por planta, número de flores por racimo, número de frutos por racimo, porcentaje de establecimiento de frutos, y peso de los mismos. Los valores fueron promediados y analizados estadísticamente.

##### **4.4.2.2. Índice de Cuajado**

A partir del inicio de floración se hizo un seguimiento del número de flores que se diferenciaba en cada planta en cada racimo, y del número de los frutos logrados. Relacionando estos dos componentes del rendimiento se calculó el porcentaje de cuajado alcanzado en cada situación (ecuación 15)

$$\% \text{ cuajado} = \frac{\text{Número de frutos}}{\text{Número de flores}}^{-1} \quad (15)$$

##### **4.4.2.3. Sólidos Solubles Totales**

Durante el período de cosecha se realizaron mediciones de sólidos solubles totales (°Brix) en jugo de frutos maduros (n = 280) de los distintos tratamientos, mediante un refractómetro manual REF 113/ATC 0-32% Brix

#### **4.4.2.4. Polifenoles**

Para la cuantificación de polifenoles totales en fruto se empleó la metodología descrita en el apartado 4.2.2.7.

#### **4.4.2.5. Antocianos**

El análisis del contenido de antocianos se realizó utilizando el método del pH diferencial (Cheng y Breen, 1991). Se evaluó la absorbancia con un espectrofotómetro Beckmann serie D200 a 510 y 700 nanómetros en buffer a pH 1 y pH 4,5. Los pigmentos de los antocianos cambian el color y la intensidad dependiendo del pH. A valores de pH 1 las antocianinas se presentan con color (forma oxonio o flavilio); a pH 4,5 se presentan incoloras (forma carbinol). La diferencia en absorbancia es proporcional al contenido de antocianos. Para su cálculo se empleó la ecuación 16:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 1} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 4,5} \quad (16)$$

donde  $A_{510}$  y  $A_{700}$  son las lecturas de absorbancia a 510 y 700 nanómetros, respectivamente.

Con un coeficiente de extinción molar de 29.600 y peso molecular de 449,2 para la cianidina 3-glucósido, los resultados se expresaron en mg de cianidina 3-glucósido por 100 g de material vegetal. Los resultados fueron la media de 5 repeticiones ( $n = 50$ ).

### **4.4.3. Resultados**

#### **4.4.3.1. Componentes del rendimiento**

Se observaron diferencias entre tratamientos en el rendimiento obtenido en cada racimo (Tabla 4.6.).

Tabla 4.6. Componentes del rendimiento

| Tratamiento<br>nutricional | Racimo 1                               |  |                |                   |                                      | Racimo 2                               |  |                     |                   |                                      | Rendimiento                    |
|----------------------------|--|--|----------------|-------------------|--------------------------------------|--|--|---------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
|                            | NºFlores<br>(flores pl <sup>-1</sup> ) | NºFrutos<br>(frutos pl <sup>-1</sup> ) | Cuajado<br>(%) | Peso Fruto<br>(g) | Rendimiento<br>(g pl <sup>-1</sup> ) | NºFlores<br>(flores pl <sup>-1</sup> ) | NºFrutos<br>(frutos pl <sup>-1</sup> ) | %<br>Cuajado<br>(%) | Peso Fruto<br>(g) | Rendimiento<br>(g pl <sup>-1</sup> ) | total<br>(g pl <sup>-1</sup> ) |
| <b>npk</b>                 | 14,4 a                                 | 6,4 a                                  | 51,6 a         | 40,8 c            | 261,4 a                              | 10,8 ab                                | 7,8 ab                                 | 80,2 a              | 48,9 bc           | 381,4 cd                             | 642,8 cd                       |
| <b>npK</b>                 | 14,2 a                                 | 4,7 ab                                 | 40,0 b         | 46,7 bc           | 219,6 b                              | 10,2 ab                                | 7,8 ab                                 | 75,5 a              | 52,5 ab           | 409,8 bc                             | 629,4 de                       |
| <b>nPk</b>                 | 11,2 b                                 | 4,9 a                                  | 40,0 b         | 53,1 ab           | 260,2 a                              | 9,0 b                                  | 6,8 b                                  | 70,5 ab             | 54,6 ab           | 371,3 cd                             | 631,5 cd                       |
| <b>nPK</b>                 | 10,9 b                                 | 3,9 b                                  | 35,8 b         | 58,1 a            | 231,3 b                              | 10,8 ab                                | 7,8 ab                                 | 72,2 ab             | 63,4 a            | 495,8 ab                             | 727,1 b                        |
| <b>Npk</b>                 | 15,6 a                                 | 5,5 a                                  | 41,9 b         | 47,4 bc           | 260,5 a                              | 9,1 b                                  | 7,2 b                                  | 77,3 a              | 60,0 a            | 432,3 bc                             | 692,8 c                        |
| <b>NpK</b>                 | 10,3 b                                 | 3,4 b                                  | 36,7 b         | 49,3 bc           | 167,5 c                              | 11,5 ab                                | 8,1 a                                  | 73,6 ab             | 47,9 bc           | 387,8 cd                             | 555,3 e                        |
| <b>NPk</b>                 | 10,0 b                                 | 4,5 ab                                 | 51,5 a         | 62,3 a            | 280,3 a                              | 8,6 b                                  | 7,0 b                                  | 80,8 a              | 44,4 c            | 310,9 d                              | 591,3 de                       |
| <b>NPK</b>                 | 14,5 a                                 | 4,3 ab                                 | 26,2 c         | 54,5 ab           | 234,3 b                              | 13,7 a                                 | 8,8 a                                  | 65,3 b              | 60,3 a            | 530,9 a                              | 765,2 a                        |

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).



Coincidente con otros autores (Mahmoud y George, 1984; Varis y George, 1985; Wien y Minotti, 1988), una diferente disponibilidad de nutrientes minerales provocó diferencias significativas ( $P<0,05$ ) en los rendimientos de los distintos tratamientos, así como en sus componentes número de flores, cuajado, y número y peso de los frutos (Tabla 4.6.).

También se observaron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) en la diferenciación y desarrollo de órganos reproductivos en función del racimo (Tabla 4.7.).

**Tabla 4.7. Partición del rendimiento**

| <b>Componente del rendimiento</b> | <b>Racimo 1</b> | <b>Racimo 2</b> |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Nº Flores planta <sup>-1</sup>    | 12,6 a          | 10,5 b          |
| Nº Frutos planta <sup>-1</sup>    | 4,6 b           | 7,5 a           |
| % Cuajado                         | 38,9 b          | 72,4 a          |
| Peso medio del fruto (g)          | 51,5 a          | 54,0 a          |
| Rendimiento (g pl <sup>-1</sup> ) | 233,7 b         | 402,9 a         |
| % del Rendimiento total           | 36,7 b          | 63,3 a          |

Los valores son la media de los distintos tratamientos.

Letras distintas dentro de cada línea indican diferencias significativas ( $P<0,05$ )

#### **4.4.3.2. Ritmo de desarrollo de los frutos**

La relación entre el crecimiento de los frutos y el tiempo térmico acumulado a partir del cuajado se ajustó a una tendencia lineal. La tasa de desarrollo de los frutos fue significativamente diferente entre los desarrollados en el racimo 1 y en el racimo 2. La relación establecida para el racimo 1 es de 13 % de desarrollo del fruto por cada 100 °Cdía acumulados, mientras que para el racimo 2 es de un 17% (Fig. 4.18.).

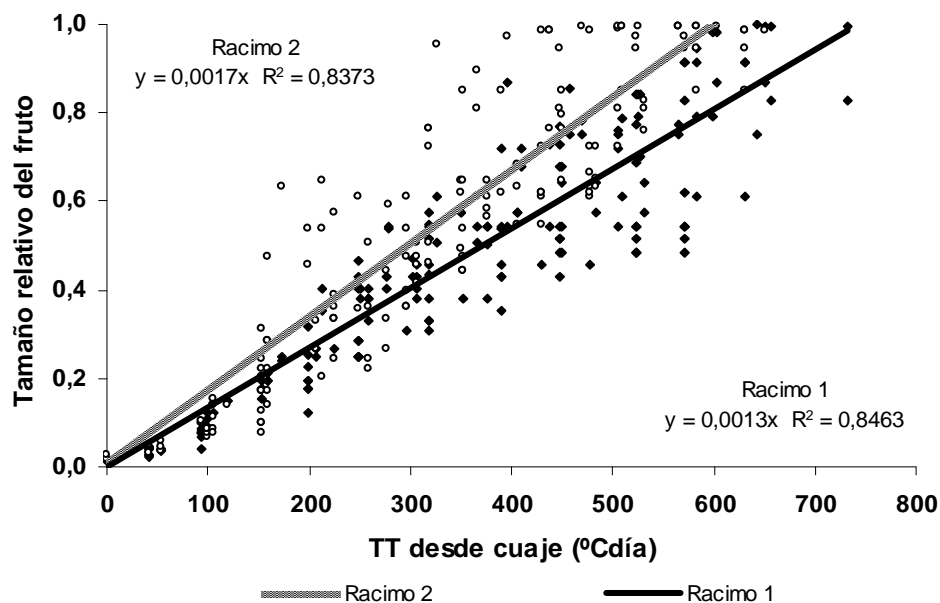


Figura 4.18. Ritmo de crecimiento de los frutos en cada racimo

Existe también una diferencia entre racimos en el rango del tiempo térmico necesario para alcanzar el máximo tamaño de fruto. Para los ubicados en el racimo 1 va desde los 500 a los 730 °Cdía, mientras que para los correspondientes al racimo 2 abarca desde los 470 hasta los 630 °Cdía para llegar a su peso final.

#### 4.4.3.3. Contenido de sólidos solubles en fruto

La diferente disponibilidad de nutrientes, y de nitrógeno en particular, provocó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la concentración de azúcares en los frutos. Los tratamientos con mayor nivel de nutrición nitrogenada (N+) presentaron mayor cantidad de sólidos solubles totales (°Brix) en fruto, tanto para el racimo 1 como para el racimo 2, no registrándose diferencias entre racimos para los mismos niveles de N (Fig. 4.19.).

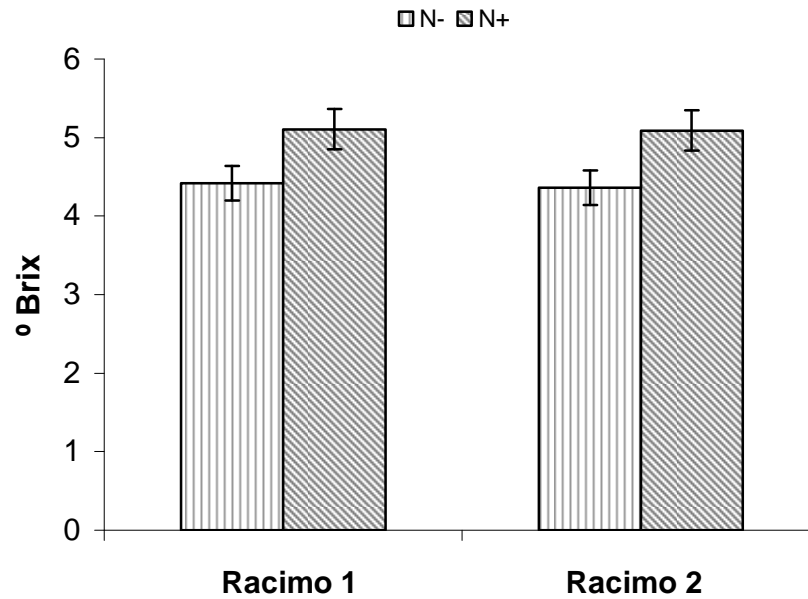


Figura 4.19. Contenido de sólidos solubles en fruto para distintos tratamientos de nitrógeno

#### 4.4.3.4. Contenido de polifenoles y antocianos en fruto

Cartelat et al. (2005) expresan que un elevado contenido de polifenoles en tejido es un estimador de deficiencia de N, argumentando que ante una baja disponibilidad de este elemento las plantas utilizan el exceso de carbono en la síntesis de polifenoles. Estos y otros autores (Coley et al., 1985; Herms y Mattson, 1992; Bragazza y Freeman, 2007), hallaron una relación inversa entre la disponibilidad de N y la concentración de polifenoles en tejido vegetal, sin hacer mención a su presencia en fruto.

Contrariamente a lo previsto para órganos vegetativos, en estos experimentos se pudo determinar que ante una elevada disponibilidad de nitrógeno correspondieron altas concentraciones de polifenoles en fruto, no observándose diferencias entre distintos grados de maduración de los frutos dentro de cada tratamiento (Tabla 4.8.).

Tabla 4.8. Contenido de polifenoles y antocianos en fruto

| Tratamiento<br>nutricional | Polifenoles<br>(mg 100g <sup>-1</sup> peso fresco) |             | Antocianos<br>(mg 100g <sup>-1</sup> peso fresco) |             |
|----------------------------|--|-------------|---|-------------|
|                            | Fruto Maduro                                       | Fruto Verde | Fruto Maduro                                      | Fruto Verde |
| <b>N50</b>                 | 47,62 b  | 38,70 b     | 0,00  | 0,020 b     |
| <b>N100</b>                | 58,67 ab   | 55,91 ab    | 0,00  | 0,020 b     |
| <b>N200</b>                | 73,42 a  | 66,39 a     | 0,00  | 0,029 a     |

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

#### 4.4.4. Discusión

Una diferente disponibilidad de nutrientes minerales provocó diferencias en los rendimientos y en sus componentes. Todos los tratamientos tuvieron un comportamiento similar, existiendo una diferencia en la partición del rendimiento entre el racimo 1 y el racimo 2 de un 72% a favor de este último. Sin embargo, en el NPK esta diferencia fue de sólo un 11% al presentar el racimo 1 un mayor peso de fruto y el racimo 2 un menor peso de fruto que sus correspondientes valores medios (Tablas 4.6. y 4.7.). Por su parte, los tratamientos nPK, NpK y NPK más que duplicaron el rendimiento en su segundo racimo respecto del primero, como consecuencia de un menor número de frutos en el racimo 1 (nPK y NpK), un mayor número de frutos en el racimo 2 (NpK y NPK), y un mayor peso del fruto en el racimo 2 (nPK y NPK), comparados con la media general del experimento (Tabla 4.6.).

El racimo 1 diferenció un 20% más estructuras reproductivas que el racimo 2. Sin embargo el racimo 2 superó en un 63% el número de frutos establecidos y cosechados, lo

que se logró a través de un mayor porcentaje de cuajado (+86%) (Tabla 4.7.). Si bien el racimo 1 había diferenciado mayor cantidad de flores, una alta proporción de las mismas ( $\approx 60\%$ ) no alcanzaron a cuajar debido a la relación fuente-sumidero establecida al momento de la floración en este racimo (60 ddt), durante el cual las plantas se encontraban en pleno crecimiento vegetativo (diferenciación y expansión de nuevas hojas, crecimiento de raíces), y desarrollo reproductivo (fijando estructuras reproductivas en el racimo 1 e iniciando la etapa reproductiva en el racimo 2) (Bertin, 1995). Esta diversidad de sumideros pudo ocasionar la falta de carbohidratos para la fijación de las estructuras diferenciadas en este primer racimo, lo que originó el aborto de un gran número de ellas. Bangerth (1989) señala que cuando la disponibilidad de asimilados es menor que la demanda total de los mismos, la competencia entre sumideros se convierte en el factor determinante del control de distribución de carbohidratos. La competencia existe entre estructuras vegetativas y reproductivas, entre inflorescencias de la planta y entre frutos del mismo racimo. El racimo 2 diferenció un menor número de flores, pero logró un mayor establecimiento de estructuras reproductivas. Durante la floración de este racimo las plantas ya no diferenciaban hojas, dado que se les había cortado el ápice caulinar, lo que supuso una disminución del número de sumideros, favoreciendo el cuajado de los frutos en formación. Stephenson (1981) señala para este cultivo que la disponibilidad de asimilados es el principal factor determinante del establecimiento de frutos.

Por el contrario, el componente de rendimiento peso de los frutos no presentó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre racimos, por lo que, coincidiendo con Adams y Valdés (2002), la diferencia en los rendimientos es atribuible sólo a la cantidad de frutos en cada racimo (Tabla 4.7.). Favaro y Pilatti (1987) indican que el tamaño y el ritmo de crecimiento de los frutos del primer racimo en el cultivar Platense no se vieron modificados al ralearle flores, ni aún al eliminar el segundo racimo.

La tasa de desarrollo de los frutos fue significativamente diferente entre los desarrollados en el racimo 1 y en el racimo 2, ya que por cada 100 unidades térmicas incrementaron su peso en un 13 % y 17 % respectivamente. Esto indica un requerimiento promedio de 770 °Cdía para los frutos del racimo 1 desde el momento del cuajado hasta el momento de madurez comercial, mientras que los frutos del racimo 2 cumplen esa etapa en 590 °Cdía (Fig. 4.18.). Aikman (1996) calculó un requerimiento de 840 °Cdía en promedio para este cultivo, conducido en cámaras climáticas.

El rango del tiempo térmico necesario para alcanzar el máximo tamaño de fruto también presentó diferencias entre racimos. Para los ubicados en el racimo 1 va desde los 500 a los 730 °Cdía (amplitud de 230 °Cdía), mientras que para los correspondientes al racimo 2 abarca desde los 470 hasta los 630 °Cdía (amplitud de 160 °Cdía) para llegar a su peso final. Esta mayor amplitud para el racimo 1 se justifica considerando que el menor valor de tiempo térmico requerido corresponde a sus primeros frutos cuajados, ubicados en una posición distal dentro del mismo, y que fueron los que dieron comienzo a la cosecha a los 141 ddt. Posteriormente, al entrar en producción el racimo 2 (ca. 155 ddt), la competencia por asimilados y la dominancia apical hacen que aquel quede como sumidero menos importante, y es por ello que adquiere los mayores valores de requerimiento térmico para terminar de desarrollar los frutos diferenciados en él. Lo expresado anteriormente a través de la segunda etapa del período de cosecha, corrobora este análisis.

No se registraron diferencias en la cantidad de sólidos solubles totales en frutos de distintos racimos para los mismos niveles de N. El contenido de azúcar total está directamente relacionado con el contenido de materia seca del fruto, parámetro éste que fue similar para los tratamientos N+ y N-, habiéndose calculado para este experimento un valor de 6,7%. Se encuentra también relacionado en forma inversa con el tamaño del

fruto, no habiéndose registrado diferencias entre tratamientos en este componente del rendimiento (Tabla 4.6.). Las diferencias en los contenidos de azúcares a favor de los tratamientos N+ tampoco pueden ser atribuidas a un mayor contenido de clorofila en hoja (Tabla 4.3.) ni a una más eficiente conversión de la radiación solar interceptada (EUR, Tabla 4.4.), dado que presentaron valores similares.

Una elevada disponibilidad de nitrógeno se correspondió con altas concentraciones de polifenoles en fruto, no observándose diferencias entre distintos grados de maduración de los frutos dentro de cada tratamiento (Tabla 4.8.). Al igual que al analizar el contenido de polifenoles en hoja (Tabla 4.3., apartado 4.2.3.1.4.), no se encontraron explicaciones para este resultado errático hallado en frutos. Valores (mínimos) de antocianos fueron registrados sólo en frutos verdes, hallándose diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos, si bien su presencia no se pudo relacionar con los parámetros medidos durante estos ensayos. Los frutos maduros de los distintos tratamientos no contenían antocianos (Tabla 4.8.).





## **5. CONCLUSIONES**



En los experimentos realizados para la presente tesis se estudió cómo distintos niveles relativos de disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en distintas etapas del ciclo de un cultivo de tomate Platense modifican su crecimiento y desarrollo. Se evaluó si éstos modificaban los procesos de producción de biomasa y su partición, y cuáles de los parámetros que los definen los explicaban en mayor medida. La tasa de crecimiento del cultivo, definida por la oferta de radiación y las eficiencias de intercepción y uso, difirió entre los tratamientos nutricionales. La eficiencia de intercepción, asociada al índice de área foliar, se vio modificada a través de sus componentes número de hojas por planta y superficie promedio de hoja. Los tratamientos con mayor disponibilidad de nitrógeno presentaron hojas con una mayor expansión al comienzo de la floración, igualándose luego durante el período de producción. Por su parte, el número de hojas por planta fue similar entre tratamientos en las etapas de floración y comienzo de cosecha, registrándose hacia fin de cosecha valores menores en los tratamientos con mayor disponibilidad de nitrógeno como consecuencia de una mayor senescencia de hojas, que inicialmente habían alcanzado mayor tamaño promedio. La eficiencia en el uso de la radiación difirió entre tratamientos aunque no se vio afectada por la deficiencia de nitrógeno. Se observaron valores relativamente elevados que se relacionaron con altos contenidos de clorofila en hojas durante el período de producción. El contenido de clorofila total difirió en cada tratamiento entre hojas jóvenes y hojas maduras, siendo mayor en la medida en que era mayor la disponibilidad de nitrógeno. La medición del contenido de polifenoles en hojas permitió identificar la existencia de un déficit de nitrógeno que se asoció tanto al tratamiento como a la edad de las hojas, pudiendo explicarse más ajustadamente mediante la relación clorofila/polifenoles.

Se asociaron el ritmo de acumulación y partición de biomasa a las respuestas fisiológicas del cultivo, confirmando la importancia de la dinámica en el contenido de

clorofila en hoja y de la existencia de órganos vegetativos/reproductivos en activo crecimiento. La partición de la biomasa difirió entre tratamientos, siendo que un alto contenido relativo de nitrógeno produjo menor índice de cosecha, y aumentando éste al incrementarse la disponibilidad de potasio como consecuencia del mayor establecimiento de frutos. A diferencia de la tasa de crecimiento del cultivo, la tasa de crecimiento del fruto se mantuvo constante durante el período de cosecha, ajustándose así el rendimiento acumulado por planta a una función lineal.

Se analizó la incidencia de la ubicación de las estructuras reproductivas en la planta en el número y peso final de los órganos de cosecha y en la tasa de crecimiento del fruto, asociando esta última a la nutrición nitrogenada. El inicio de cosecha fue similar para los racimos 1 y 2, al igual que en una primera etapa el número de frutos cosechados por racimo y el peso medio de los mismos. En una segunda etapa el racimo 2 presentó mayor ritmo de cosecha como consecuencia de una mayor tasa de maduración de sus frutos. A medida que éstos fueron extraídos se restableció el ritmo de cosecha en el racimo 1. En la primera etapa se registró mayor peso medio de los frutos en ambos racimos debido a la mayor fuerza del sumidero. No se registraron diferencias en la cantidad de sólidos solubles totales en frutos de distintos racimos para un mismo nivel de nitrógeno, aunque sí ante distinta disponibilidad de este elemento.

Se establecieron modelos estimativos de aquellos parámetros para cuya obtención se requería de muestreos destructivos. Se obtuvieron así funciones de ajuste mediante regresiones lineales para estimar el área foliar, el contenido de N y de clorofila foliar, y el peso del fruto. Estos modelos de predicción, no destructivos y rápidos, fueron utilizados para realizar el seguimiento de las variables que describen el crecimiento y desarrollo a lo largo del ciclo del cultivo en tomate Platense.

## Contrastación de hipótesis

Durante el desarrollo de esta tesis se han presentado y analizado evidencias según los objetivos inicialmente planteados, los cuales permiten responder a las hipótesis originales como se indica a continuación:

**Hipótesis 1:** En tomate Platense no sólo las deficiencias absolutas de nitrógeno, fósforo y potasio tienen efectos sobre la producción de biomasa aérea y su partición entre estructuras vegetativas y reproductivas, sino también la proporción entre ellos. Distintos niveles relativos de nitrógeno, fósforo y potasio modifican:

- f. el desarrollo foliar a través de sus componentes, número de hojas por planta y superficie de las mismas, y de su longevidad.

*Aceptada* (Figs. 4.8., 4.9. y 4.10., Tabla 4.1., apartado 4.2.3.1.1.).

- g. la tasa de crecimiento del cultivo al inducir variación en la eficiencia de interceptación y de uso de la radiación.

*Aceptada* (Tabla 4.4., apartado 4.2.3.2.; Tabla 4.5., apartado 4.3.3.1.3.).

- h. la respuesta fisiológica del cultivo al afectar al contenido de clorofilas y polifenoles en hoja, influyendo así en la biomasa aérea y su partición.

*Aceptada parcialmente* (Fig. 4.13., Tablas 4.2. y 4.3., apartado 4.2.3.1.2.; Tabla 4.4., apartado 4.2.3.2.).

- i. el rendimiento al influir en el establecimiento de frutos, su tasa de crecimiento y la calidad de los mismos (contenido de azúcares, de antocianos y de polifenoles).

*Aceptada* (Tabla 4.5., apartado 4.3.3.1.3.; Tabla 4.6., apartado 4.4.3.1.; Fig. 4.19, apartado 4.4.3.3.).

**Hipótesis 2:** Por tratarse de un cultivo indeterminado, en gran parte del ciclo de cultivo los frutos y las estructuras vegetativas compiten por los asimilados, mostrando la partición de los mismos un patrón cíclico en función del estado de desarrollo, por lo que la posición del racimo dentro de la planta determina:

- j. la cantidad de estructuras florales y fructíferas en cada racimo, así como el peso de sus frutos.

*Aceptada* (Tablas 4.6. y 4.7., apartado 4.4.3.1.).

- k. la tasa de crecimiento de los órganos de cosecha.

*Aceptada* (Fig. 4.18., apartado 4.4.3.2.).

- l. la calidad del fruto, expresada a través del contenido de azúcares.

*Rechazada* (Fig. 4.19., apartado 4.4.3.3.; Tabla 4.8., apartado 4.4.3.4.).

**Hipótesis 3:** A través de mediciones no destructivas se pueden estimar parámetros que permiten interpretar el comportamiento de un cultivo de tomate Platense en su crecimiento y desarrollo.

*Aceptada* (Capítulo 4.1.).

## **6. BIBLIOGRAFÍA**





Abad, M. and Monteiro, A.A. 1989. The use of auxins for the production of greenhouse tomatoes in mild-winter conditions: a review. *Scientia Horticulturae*, 38:167-192.

Adams, P. 1994. Some effects of the environment on the nutrition of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 366:495-416.

Adams, S.R. and Valdés, V.M. 2002. The effect of periods of high temperature and manipulating fruit load on the pattern of tomato yields. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 77(4):461-466.

Adams, S.R.; Cockshull, K.E. and Cave, C.R.J. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* 88:869-877.

Agustí, M. 2008. Crecimiento y maduración del fruto. En: *Fundamentos de fisiología vegetal*. Coord. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. McGraw-Hill/ Interamericana: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. 522pp.

Aikman, D.P. 1996. A procedure for optimizing carbon dioxide enrichment of a glasshouse tomato crop. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63:171-184.

Andrade, F.; Otegui, M.E. and Vega, C. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agronomy Journal*, 92 (1):92-97.

Anten, N.P.R.; Schieving, F. and Werger, M.J.A. 1995. Patterns of light and nitrogen distribution in relation to whole canopy carbon gain in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> mono- and dicotyledoneous species. *Oecologia* 101:504-513.

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill/Interamericana: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. 522pp.

Bangerth, F. 1989. Dominance among fruits/sinks and the search for a correlative signal. *Physiologia Plantarum*, 76 :608-614.

Belda, R.M. and Ho, L.C. 1993. Salinity effects on the network of vascular bundles during tomato fruit development. *Journal of Horticultural Science*, 68 (4) 557-564.

Belda, R.M.; Fenlon, J.S. and Ho, L.C. 1996. Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibilities to blossom-end rot. *Journal of Horticultural Science*, 71 (2) 173-179.

Bertin, N. 1995. Competition for assimilates and fruit position affect fruit set in indeterminate greenhouse tomato. *Annals of Botany* 75:55-65.

Bertin, N.; Guichard, S.; Leonardi, C.; Longuenesse, J.J.; Langlois, D. and Navez, B. 2000. Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air pressure deficit and plant fruit load. *Annals of Botany* 85:741-750.

Bonnemain, J.L. 1965. Sur le transport diurne des produits d'assimilation lors de la floración chez la tomate. C.R. Acad. Sci. Paris, 260: 2054-2057.

Bonnemain, J.L. 1966. Sur les modalités de la distribution des assimilates chez la tomate et sur ses mécanismes. C.R. Acad. Sci. Paris, 262:1106-1109.

Borrás, L. and Otegui, M.E. 2001. Maize Kernel Weight Response to Post-Flowering Source-Sink Ratio. Crop Science 41:1816-1823.

Bragazza, L. and Freeman, C. 2007. High nitrogen availability reduces polyphenol content in *Sphagnum* peat. Science of the Total Environment 377 :439-443.

Cartelat, A.; Cerovic, Z.G.; Goulas, Y.; Meyer, S.; Lelarge, C.; Prioul, J.L.; Barbottin, A.; Jeuffroy, M.H.; Gate, P.; Agati, G. and Moya, I. 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrógeno deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops Research 91:35-49.

Cheng, G. and Breen, P. 1991. Activity of phenylalanine ammonialyase (PAL) and concentrations of antocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 116:865-869.

Clozza, M. 2005. Influencia de la nutrición mineral y del contenido de clorofila en el crecimiento y desarrollo de tomate Platense (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Trabajo tutelado. Doctorado en Biología Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. 37pp.

Cockshull, K.E.; Graves, C.J. and Cave, C.R.J. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J.Hortic.Sci.*, 67:11-24.

Coley, P.D., Bryant, J.P. and Chapin, S., 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science* 230:895–899.

Connor, D.J.; Sadras, V.O. and Hall, A.J. 1995. Canopy nitrogen distribution and the photosynthetic performance of sunflower crops during grain filling: a quantitative analysis. *Oecologia* 101:274-281.

Davies, J.N. and Hobson, G.E. 1981. The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 81:205-279.

De Koning, A.N.M. 1989. Development and growth of a commercially grown tomato crop. *Acta Hortic.*, 328:141-146.

De Koning, A.N.M. 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

De Koning, A.N.M. and De Ruiter, H.W. 1991. Effect of temperature, plant density and fruit thinning on flower/fruit abortion and dry matter partitioning of tomato. Annual Report 1990 Glasshouse Crops Research Station, Naaldwijk, p.29.

Divo de Sesar, M.D. 2005. Integración de estudios fisiológicos, histológicos y bioquímicos del proceso de enraizamiento, rustificación y crecimiento posterior de especies de importancia agronómica suplementadas con citoquininas. Tesis Doctoral UBA. 217pp.

Dreccer, M.F.; Van Oijen, M.; Schapendonk, H.C.M.; Pot, C.S. and Rabbinge R. 2000. Dynamics of vertical leaf nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy. Impact on canopy photosynthesis. *Annals of Botany* 86:821-831.

Duncan, W.G. 1971. Leaf angle, leaf area and canopy photosynthesis. *Crop Science* 11:482-485.

Dwyer, L.M., Stewart, D.W., Hamilton, R.I., Houwing, L., 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. *Agron.J.* 84, 430-438.

Egle, K. 1944. Untersuchungen über die Resistenz der Plastidenfarbstoffe. *Bot. Arch.* 44:93-148.

Favaro, J.C. and Pilatti, R.A. 1987. Influence of the number of flowers upon the growth of the first-cluster fruits in tomato. *Scientia Horticulturae* 33(1-2):49-55.

García Luis, A. y Guardiola, J.L. 2008. Transporte en el floema. En: *Fundamentos de fisiología vegetal*. Coord. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. McGraw-Hill/ Interamericana: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. 522pp.

Gifford, R.M. and Evans, L.T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32:485-509.

Gosiewski , W.; Nilwik, H.J.M.; Bierhuizen, J.F. 1982. The influence of temperature on photosynthesis of different tomato genotypes. *Scientia Hortic.*, 16:109-115.

Goudriaan, J. 1988. The bare bones of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. *Agricultural and Forest Meteorology* 43:155-169.

Gross, J. 1991. Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids. An AVI Book. Van Nostrand Reinhold Edit. New York. 351pp.

Guardiola, J.L. y García Luis, A. 1990. Fisiología Vegetal: Nutrición y transporte. Editorial Síntesis S.A. Madrid.

Hahkonen, M.; Hopia, A. and Heinomen, M. 2001. Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:4076-4082.

Hall, A.J. and Brady, C.J. 1977. Assimilate source-sink relationships in *Capsicum annuum* L. II. Effects of fruiting and defloration on the photosynthetic capacity and senescence of the leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 4:771-783.

Hall, A.J., 1977. Assimilate source-sink relationships in *Capsicum annuum* L. 1. The dynamics of growth in fruiting and deflorated plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 4:623-636.

---

Hartmann, H.D. 1977. Influence of axillary shoots on growth and yield of tomato varieties. *Gartenbauwissenschaft* 42:178-184.

Hebbar, S.S.; Ramachandrappa, B.K.; Nanjappa, H.V. and Prabhakar, M. 2004. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Europ.J.Agronomy* 21:117-127.

Herms, D.A. and Mattson, W.J. 1992. The dilemma of plants: to grow or to defend. *Q. Rev. Biol.* 67, 283–335.

Heuvelink, E. 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Sci. Hortic.*, 61: 77-99.

Heuvelink, E., 1996. Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 326pp.

Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Annals of Botany* 83:413-422.

Hikosaka, K. and Terashima, I. 1995. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C<sub>3</sub> plants to sun and shade with respect to nitrogen use. *Plant, Cell and Environment* 18:605-618.

Hirose, T. and Werger, M.J.A. 1987. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. *Oecologia* 72:520-526.

Ho, L.C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 39:355-378.

Ho, L.C. 1996. Tomato. In *Photoassimilate distribution in plants and crops source-sink relationships*. Ed. E. Zamski and A. Schaffer. Marcel Dekker, Inc-New York. 905pp.

Ho, L.C.; Belda R.M.; Brown, M.; Andrews, J. and Adams P. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of Blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany*, 44 (259) 509-518.

Inskeep, W. and Bloom, P. 1985. Extinction coefficients of Chlorophyll a and b in N,N-dimethylformamide and 80 % acetone. *Plant Physiol.* 77:483-485.

Jones, C.G. and Hartley, S.E. 1999. A protein competition model of phenolic allocation. *Oikos* 86:27-44.

Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J. and Thelier-Huches, L. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann.Bot.* 74, 397-407.

Kahn, A.A.; Sagar, G.R. 1967. Translocation in tomato: the distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production. *Hort.Res.*, 7:61-69.



---

Kato, T. and Tanaka, M. 1971. Studies on the fruit setting and development of sweet peppers. I. Fruiting behaviour. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 40:359-366.

Kinet, J.M. and Leonard, M. 1983. The role of cytokinins and gibberellins in controlling inflorescence development in tomato. Acta Horticulturae 134:117-124.

Kinet, J.M. and Peet, M. 1997. Tomato. In: The Physiology of Vegetable Crops. H.C.Wien ed.

Kinet, J.M.; Hurdebise, D.; Parmentier, A. and Stainer, R. 1978. Promotion of inflorescence development by plants grown in insufficient light conditions. Journal of American Society for Horticultural Science 103:724-729.

Kläring, H.P. 1999. Effects of non-destructive mechanical measurements on plant growth: a study with sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae 81:369-375.

Krugh, B.; Bichham, L. and Miles, D. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. Maize genetics cooperation. News Letter 68:25-27.

Lai, A.; Santangelo, E.; Soressi, G.P. and Fantoni, R. 2007. Analysis of the main secondary metabolites produced in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) epicarp tissue during fruit ripening using fluorescence techniques. Postharvest Biology and Technology 43:335-342.

Le Bot, J.; Jeannequin, B. and Fabre, R. 2001. Growth and nitrogen status of soilless tomato plants following nitrate withdrawal from the nutrient solution. *Annals of Botany* 88:361-370.

Le Bot, J.; S. Adamowicz; and P. Robin. 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74:47-82.

Leonard, M.; Kinet, J.M.; Bodson, M. and Bernier, G. 1983. Enhanced inflorescence development in tomato by growth substance treatments in relation to <sup>14</sup>C-assimilate distribution. *Physiologia Plantarum* 57:85-89.

Loomis, R.S. and Connor, D.J. 1998. Crop ecology productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 538pp.

Maddonni, G.A. and Otegui, M.E. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Res.* 48:81-87.

Maddonni, G.A., and Otegui, M.E. 2004. Intra-specific competition in maize: early-determined hierarchies among plants affect final kernel set. *Field Crops Res.* 85:1-13.

Mahmoud, B.H. and George, R.A.T. 1984. The influence of mother plant mineral nutrition on seed yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta-Horticulturae* 143:143-151.

Marcelis, L.F.M. 1991. Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber. *Journal of Experimental Botany* 42:1387-1392.

Marcelis, L.F.M. 1992. The dynamics of growth and dry matter distribution in cucumber. *Annals of Botany* 69:487-492.

Marcelis, L.F.M. 1993. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. I. Effect of fruit load and temperature. *Scientia Horticulturae* 54:107-121.

Marcelis, L.F.M. 1994. A simulation model for dry matter partitioning in cucumber. *Annals of Botany* 74:43-52.

Margna, U. 1977. Control at the level of substrate supply – an alternative in the regulation of phenylpropanoid accumulation in plant cells. *Phytochemistry* 16:419-426.

Marquard, D.R. and Tipton J.L. 1987. Relationship between extractable chlorophyll and on *in situ* method to estimate leaf greenness. *HortScience* 22:1327.

Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. 889pp.

Martínez, P.F. and Roca D. 2001. Regulation of air humidity and effects on mineral levels and blossom-end rot incidence in pepper fruits. *Acta Hort.*,559:407-412.

Martínez, P.F.; Tartoura, S.A.A. and Roca, D. 2001. Air humidity, transpiration and blossom-end rot in soilless sweet pepper culture. *Acta Hort.*,559:425-429.

Monje, O. and Bugbee, B. 1992. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters. *HortScience* 27:69-71.

Montgomery, E.G., 1911. Correlation studies in corn. 24th Nebraska Agric. Exp. Stn Report. Lincoln, NE.

Mooney, H.A. and Gulmon, S.L. 1979. Environmental and evolutionary constraints on the photosynthetic characteristics of higher plants. In: Solbrig, O.T., ed. *Topics in plant population biology*. New York: Columbia University Press, 316-337.

Mooney, H.A.; Field, C.; Gulmon, S.L. and Bazzaz, F.A. 1981. Photosynthetic capacity in relation to leaf position in desert vs. old-field annuals. *Oecologia* 50:109-112.

Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I. Leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops* 18:1-16.

Navarrete, M. and Jeannequin, B. 2000. Effect of frequency of axillary bud pruning on vegetative growth and fruit yield in greenhouse tomato crops. *Scientia Horticulturae* 86:197-210.

Novoa, R. and Loomis, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil* 58:177-204.

Nuez, F. 1995. *El cultivo del tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 793pp.

Papadopoulos, A.P.; Pararajasingham, S. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review. *Scientia Horticulturae* 69:1-29.

Pascale, J. y Damario, E.A. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. 550pp.

Peat, W.E. 1970. Relationships between photosynthesis and light intensity in the tomato. *Ann. Bot.*, 34:319-348.

Picken, A.J.F. 1984. A review on pollination and fruit set in the tomato. *Journal of Horticultural Science* 59:1-13.

Pöntinen, V. and Voipio, I. 1992. Different methods of mechanical stress controlling the growth of lettuce and cauliflower seedlings. *Acta Agricultura Scandinavica Section B-Soil and Plant Sci.* 42:246-250.

Quaggio, J.A.; Mattos Jr. D.; Cantarella, H.; Almeida, E.L. and Cardoso, S.A. 2002. Lemon yield and fruit quality affected by NPK fertilization. *Scientia Horticulturae* 96:151-162.

Reeves, W.D.; Mask, P.L.; Wood, C.W. and Delay, D.P. 1993. Determination of wheat nitrogen status with a handheld chlorophyll meter. Influence of management practices. *J.Plant.Nutr.* 16:7781-7796.

Roca, D. y Martínez, P.F. 2001. Efectos de la humedad del aire y de la salinidad de la solución nutritiva sobre el transporte mineral al fruto del pimiento. *Actas de Horticultura* 30(3):889-896.

Rodríguez Mendoza, M.N.; Alcántara González, G.; Aguilar Santelises, A.; Etchevers Barra, J.; Santizó Rincón, J. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra*. Vol.16, Número 2:135-141.

Rousseaux, M.C.; Hall, A.J. and Sánchez, R.A. 1999. Light environment, nitrogen content and carbon balance of basal leaves of sunflower canopies. *Crop Science* 39:1093-1100.

Rudolph, H. 1934. Über die Einwirkung des farbigen Lichtes auf die Entstehung der Chloroplastenfarbstoffe. *Planta* 21:104-155.

Sadras, V.O., Echarte, L., Andrade, F., 2000. Profile of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. *Ann. Bot.* 85, 187-195.

Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 759pp.

Schaffer, A.A.; Petreikov, M.; Miron, D.; Fogelman, M.; Spiegelman, M.; Bnei-Moshe, Z.; Shen, S.; Granot, D.; Hadas, R.; Dai, N.; Levin, I.; Bar, M.; Friedman, M.; Pilowsky, M.; Gilboa, N. and Chen, L. 1999. Modification of carbohydrate content in developing tomato fruit. *HortScience* 34:1024-1027.

Scholberg, J.; McNeal, L.; Boote, K.J.; Jones, J.W.; Locascio, S.J. and Olson, S.M. 2000. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-grown tomato. *Agron.J.* 92:159-167.

Scholberg, J.M.S. 1996. Adaptive use of crop growth models to simulate the growth of field-grown tomato. Doctoral diss. Univ. of Florida, Gainesville.

Seybold, A. 1943. Zur Kenntniss der herbstlichen Laubblattfärbung. *Bot. Arch.* 44:551-568.

Shiraiwa, T. and Sinclair, T.R. 1993. Distribution of nitrogen among leaves in soybean canopies. *Crop Science* 33:804-808.

Siddiqi, M.Y.; Kronzucker, H.J.; Britto, D.T. and Glass, A.D.M. 1998. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. *Journal of Plant Nutrition* 21:1879-1895.

Sinclair, T.R. and R.C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65:215–265.

Slinkard, K. and Singleton, V. 1997. Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *Am. J. Enol. Vitic.* 28:49-55.

Stephenson, A.G. 1981. Flower and fruit abortion: causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecological System* 12:253-279.

Stevens, M.A. 1986. Inheritance of tomato fruit quality components. *Plant Breeding Reviews* 4:273-311.

Stevens, M.A.; Kader, A.A. and Albright-Holton, M. 1977a. Intercultivar variation in composition of locular and pericarp portions of fresh market tomatoes. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 102:689-697.

Stevens, M.A.; Kader, A.A.; Albright-Holton, M. and Algazi, M. 1977b. Genetic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 102:680-689.

Tei, F.; Benincasa, P. and Guiducci, M. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. *Europ.J.Agronomy* 18:45-55.

Turner, F.T. and M.F. Jund. 1991. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semiard rice. *Agron. J.* 83:926-928.

Varis, S. and George, R.A.T. 1985. The influence of mineral nutrition on fruit yield, seed yield and quality in tomato. *Journal of Horticultural Science* 60(3):373-376.

Vega, C.R.C., Andrade, F.H., Sadras, V.O., Uhart, S.A., Valentinuz, O.R., 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. *Crop Sci.* 41, 748-754.

Vega, C.R.C., V.O. Sadras, F.H. Andrade, and S.A. Uhart. 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Ann. Bot.* 85, 461-468.



Wien, H.C. and Minotti, P.L. 1988. Response of fresh-market tomatoes to nitrogen fertilizer and plastic mulch in a short growing season. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 113(1):61-65.

Williams, L. and Martinson, T. E. 2003. Nondestructive leaf area estimation of “Niagara” and “DeChaunac” grapevines. *Scientia Horticulturae* 98:493-498.

Yadava, V.L. 1986. A rapid and nondestructive method to determinate chlorophyll in intact leaves. *HortScience* 21:1449-1495.

Yeh, D.M.; Lin, L. and Wright, C.J. 2000. Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Horticulturae* 86:223-233.



## **7. ANEXOS**



---

## ANEXO I

### SOLUCIONES NUTRITIVAS

Los tratamientos de los experimentos 1 y 2 consistieron en dos niveles de disponibilidad para los elementos N (n: 111ppm, N: 222ppm), P (p: 20ppm, P: 40ppm), y K (k: 172ppm, K: 342ppm) en la solución de riego. Las distintas concentraciones originaron ocho posibles combinaciones: NPK (solución nutritiva completa); NPk; NpK; Npk; nPK; nPk; npK y npk (solución nutritiva con la mitad del óptimo para los tres nutrientes). Los otros macronutrientes esenciales fueron agregados a todos los tratamientos en sus concentraciones óptimas (Ca: 150ppm; Mg: 25ppm; S: 73ppm), al igual que los micronutrientes necesarios (Tablas I.1. a I.8., y I.12.).

Para el experimento 3 los tratamientos consistieron en tres niveles de abastecimiento de nitrógeno: N50, solución nutritiva con la cuarta parte del nivel óptimo de nitrógeno (50ppm); N100, solución con la mitad del nivel óptimo del elemento (100ppm); y N200, solución completa (200ppm de nitrógeno). Al igual que en los experimentos anteriores, los otros macronutrientes y los micronutrientes esenciales fueron agregados en sus concentraciones óptimas (Tablas I.9. a I.12.).

**Tabla I.1. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento NPK**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         |
|----------------------|---------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 680           | 0,90       | 106                              |                                   |           |            | 150        |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 140           | 0,98       | 23                               | 23                                |           |            |            |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 530           | 0,95       | 70                               |                                   |           | 194        |            |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 240           | 0,90       |                                  |                                   |           | 97         |            |           | 40        |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1,00       |                                  |                                   |           |            |            | 25        | 33        |
| Fosfato Monopotásico | 180           | 0,98       |                                  |                                   | 40        | 51         |            |           |           |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>199</b>                       | <b>23</b>                         | <b>40</b> | <b>342</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>73</b> |

**Soluciones madre (100x)**

disolver en 1 litro de agua: (gramos)

| <b>NPK 1</b>       |  |    |
|--------------------|--|----|
| Nitrato de Calcio  |  | 68 |
| Nitrato de Amonio  |  | 14 |
| Nitrato de Potasio |  | 53 |

disolver en 1 litro de agua: (gramos)

| <b>NPK 2</b>         |  |    |
|----------------------|--|----|
| Sulfato de Potasio   |  | 24 |
| Sulfato de Magnesio  |  | 25 |
| Fosfato Monopotásico |  | 18 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>NPK 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>NPK 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.2. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento NPK**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         |
|----------------------|---------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 680           | 0,9        | 106                               |                                   |           |            | 150        |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 140           | 0,98       | 23                                | 23                                |           |            |            |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 265           | 0,95       | 35                                |                                   |           | 97         |            |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 60            | 0,9        |                                   |                                   |           | 23         |            |           | 9         |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1          |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33        |
| Fosfato Monopotásico | 180           | 0,98       |                                   |                                   | 40        | 51         |            |           |           |
| Sulfato de Amonio    | 175           | 0,94       |                                   | 35                                |           |            |            |           | 35        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>164</b>                        | <b>58</b>                         | <b>40</b> | <b>171</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>77</b> |

**Soluciones madre (100x)**

disolver en 1 litro de agua: (gramos)

| <b>NPK 1</b>       |  |      |
|--------------------|--|------|
| Nitrato de Calcio  |  | 68   |
| Nitrato de Amonio  |  | 14   |
| Nitrato de Potasio |  | 26,5 |

disolver en 1 litro de agua: (gramos)

| <b>NPK 2</b>         |  |      |
|----------------------|--|------|
| Sulfato de Potasio   |  | 6    |
| Sulfato de Magnesio  |  | 25   |
| Fosfato Monopotásico |  | 18   |
| Sulfato de Amonio    |  | 17,5 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>NPK 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>NPK 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.3. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento NpK**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N ( $\text{NO}_3^-$ ) | N ( $\text{NH}_4^+$ ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         |
|----------------------|---------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 680           | 0,9        | 106                   |                       |           |            | 150        |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 140           | 0,98       | 23                    | 23                    |           |            |            |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 530           | 0,95       | 70                    |                       |           | 194        |            |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 300           | 0,9        |                       |                       |           | 122        |            |           | 45        |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1          |                       |                       |           |            |            | 25        | 33        |
| Fosfato Monopotásico | 90            | 0,98       |                       |                       | 20        | 26         |            |           |           |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>199</b>            | <b>23</b>             | <b>20</b> | <b>342</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>78</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**NpK 1** disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                    |    |
|--------------------|----|
| Nitrato de Calcio  | 68 |
| Nitrato de Amonio  | 14 |
| Nitrato de Potasio | 53 |

**NpK 2** disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 30 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 9  |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>NpK 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>NpK 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |



**Tabla I.4. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento Npk**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza % | N ( $\text{NO}_3^-$ ) | N ( $\text{NH}_4^+$ ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         |
|----------------------|---------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 680           | 0,9      | 106                   |                       |           |            | 150        |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 140           | 0,98     | 23                    | 23                    |           |            |            |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 330           | 0,95     | 44                    |                       |           | 121        |            |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 60            | 0,9      |                       |                       |           | 24         |            |           | 10        |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1        |                       |                       |           |            |            | 25        | 33        |
| Fosfato Monopotásico | 90            | 0,98     |                       |                       | 20        | 26         |            |           |           |
| Sulfato de Amonio    | 130           | 0,94     |                       | 26                    |           |            |            |           | 30        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |          | <b>173</b>            | <b>49</b>             | <b>20</b> | <b>171</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>73</b> |

**Soluciones madre (100x)**

disolver en 1 litro de agua: (gramos)

| <b>Npk 1</b>       |  |    |
|--------------------|--|----|
| Nitrato de Calcio  |  | 68 |
| Nitrato de Amonio  |  | 14 |
| Nitrato de Potasio |  | 33 |

disolver en 1 litro de agua: (gramos)

| <b>Npk 2</b>         |  |    |
|----------------------|--|----|
| Sulfato de Potasio   |  | 6  |
| Sulfato de Magnesio  |  | 25 |
| Fosfato Monopotásico |  | 9  |
| Sulfato de Amonio    |  | 13 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>Npk 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Npk 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.5. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento nPK**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         | Cl         |
|----------------------|---------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| Nitrato de Calcio    | 340           | 0,9        | 52                                |                                   |           |            | 75         |           |           |            |
| Nitrato de Amonio    | 70            | 0,98       | 12                                | 12                                |           |            |            |           |           |            |
| Nitrato de Potasio   | 265           | 0,95       | 35                                |                                   |           | 97         |            |           |           |            |
| Sulfato de Potasio   | 480           | 0,9        |                                   |                                   |           | 194        |            |           | 60        |            |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1          |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33        |            |
| Fosfato Monopotásico | 180           | 0,98       |                                   |                                   | 40        | 51         |            |           |           |            |
| Cloruro de Calcio    | 200           | 1          |                                   |                                   |           |            | 72         |           |           | 128        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>99</b>                         | <b>12</b>                         | <b>40</b> | <b>342</b> | <b>147</b> | <b>25</b> | <b>93</b> | <b>128</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**nPK 1**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                    |      |
|--------------------|------|
| Nitrato de Calcio  | 34   |
| Nitrato de Amonio  | 7    |
| Nitrato de Potasio | 26,5 |
| Cloruro de Calcio  | 20   |

**nPK 2**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 48 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 18 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>nPK 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>nPK 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.6. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento nPk**

| Sales                | Cantidad<br>(mg) | Pureza<br>(%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         | Cl        |
|----------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 520              | 0,9           | 80                                |                                   |           |            | 114        |           |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 70               | 0,98          | 12                                | 12                                |           |            |            |           |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 50               | 0,95          | 7                                 |                                   |           | 20         |            |           |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 240              | 0,9           |                                   |                                   |           | 97         |            |           | 40        |           |
| Sulfato de Magnesio  | 250              | 1             |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33        |           |
| Fosfato Monopotásico | 180              | 0,98          |                                   |                                   | 40        | 51         |            |           |           |           |
| Cloruro de Calcio    | 100              | 1             |                                   |                                   |           |            | 36         |           |           | 64        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |                  |               | <b>99</b>                         | <b>12</b>                         | <b>40</b> | <b>168</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>73</b> | <b>64</b> |

### Soluciones madre (100x)

**nPk 1**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                    |    |
|--------------------|----|
| Nitrato de Calcio  | 52 |
| Nitrato de Amonio  | 7  |
| Nitrato de Potasio | 5  |
| Cloruro de Calcio  | 10 |

**nPk 2**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 24 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 18 |

### Solución de riego

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>nPk 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>nPk 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.7. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento npK**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         | Cl         |
|----------------------|---------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| Nitrato de Calcio    | 340           | 0,9        | 52                                |                                   |           |            | 75         |           |           |            |
| Nitrato de Amonio    | 70            | 0,98       | 12                                | 12                                |           |            |            |           |           |            |
| Nitrato de Potasio   | 265           | 0,95       | 35                                |                                   |           | 97         |            |           |           |            |
| Sulfato de Potasio   | 480           | 0,9        |                                   |                                   |           | 194        |            |           | 60        |            |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1          |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33        |            |
| Fosfato Monopotásico | 90            | 0,98       |                                   |                                   | 20        | 26         |            |           |           |            |
| Cloruro de Calcio    | 200           | 1          |                                   |                                   |           |            | 72         |           |           | 128        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>99</b>                         | <b>12</b>                         | <b>20</b> | <b>317</b> | <b>147</b> | <b>25</b> | <b>93</b> | <b>128</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**npK 1**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                    |      |
|--------------------|------|
| Nitrato de Calcio  | 34   |
| Nitrato de Amonio  | 7    |
| Nitrato de Potasio | 26,5 |
| Cloruro de Calcio  | 20   |

**npK 2**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 48 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 9  |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>npK 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>npK 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.8. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento npk**

| <b>Sales</b>         | <b>Cantidad<br/>(mg)</b> | <b>Pureza<br/>(%)</b> | <b>N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b> | <b>N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b> | <b>P</b>  | <b>K</b>   | <b>Ca</b>  | <b>Mg</b> | <b>S</b>  | <b>Cl</b> |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 455                      | 0,9                   | 70                                    |                                       |           |            | 100        |           |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 70                       | 0,98                  | 12                                    | 12                                    |           |            |            |           |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 130                      | 0,95                  | 17                                    |                                       |           | 48         |            |           |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 240                      | 0,9                   |                                       |                                       |           | 97         |            |           | 40        |           |
| Sulfato de Magnesio  | 250                      | 1                     |                                       |                                       |           |            |            | 25        | 33        |           |
| Fosfato Monopotásico | 90                       | 0,98                  |                                       |                                       | 20        | 26         |            |           |           |           |
| Cloruro de Calcio    | 140                      | 1                     |                                       |                                       |           |            | 50         |           |           | 90        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |                          |                       | <b>99</b>                             | <b>12</b>                             | <b>20</b> | <b>171</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>73</b> | <b>90</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**npk 1**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                    |      |
|--------------------|------|
| Nitrato de Calcio  | 45,5 |
| Nitrato de Amonio  | 7    |
| Nitrato de Potasio | 13   |
| Cloruro de Calcio  | 14   |

**npk 2**      disolver en 1 litro de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 24 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 9  |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>npk 1</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>npk 2</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.9. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento N200**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S         |
|----------------------|---------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Nitrato de Calcio    | 680           | 0,9        | 104                               |                                   |           |            | 150        |           |           |
| Nitrato de Amonio    | 80            | 0,98       | 14                                | 14                                |           |            |            |           |           |
| Nitrato de Potasio   | 530           | 0,95       | 70                                |                                   |           | 194        |            |           |           |
| Sulfato de Potasio   | 250           | 0,9        |                                   |                                   |           | 100        |            |           | 41        |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1          |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33        |
| Fosfato Monopotásico | 180           | 0,98       |                                   |                                   | 40        | 51         |            |           |           |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>189</b>                        | <b>14</b>                         | <b>40</b> | <b>345</b> | <b>150</b> | <b>25</b> | <b>74</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**N200 a** disolver en 1 l de agua: (gramos)

|                    |    |
|--------------------|----|
| Nitrato de Calcio  | 68 |
| Nitrato de Amonio  | 8  |
| Nitrato de Potasio | 53 |

**N200 b** disolver en 1 l de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 25 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 18 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>N200 a</b>          | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>N200 b</b>          | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.10. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento N100**

| Sales                | Cantidad<br>(mg) | Pureza<br>(%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S          | Cl         |
|----------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| Nitrato de Calcio    | 300              | 0,9           | 46                                |                                   |           |            | 66         |           |            |            |
| Nitrato de Amonio    | 80               | 0,98          | 14                                | 14                                |           |            |            |           |            |            |
| Nitrato de Potasio   | 200              | 0,95          | 26                                |                                   |           | 73         |            |           |            |            |
| Sulfato de Potasio   | 520              | 0,9           |                                   |                                   |           | 210        |            |           | 76         |            |
| Sulfato de Magnesio  | 250              | 1             |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33         |            |
| Fosfato Monopotásico | 180              | 0,98          |                                   |                                   | 40        | 51         |            |           |            |            |
| Cloruro de Calcio    | 230              | 1             |                                   |                                   |           |            | 83         |           |            | 147        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |                  |               | <b>86</b>                         | <b>14</b>                         | <b>40</b> | <b>334</b> | <b>149</b> | <b>25</b> | <b>109</b> | <b>147</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**N100 a**      disolver en 1 l de agua:      (gramos)

|                    |    |
|--------------------|----|
| Nitrato de Calcio  | 30 |
| Nitrato de Amonio  | 8  |
| Nitrato de Potasio | 20 |

**N100 b**      disolver en 1 l de agua:      (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 52 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 18 |
| Cloruro de Calcio    | 23 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>N100 a</b>          | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>N100 b</b>          | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |

**Tabla I.11. Solución nutritiva correspondiente al tratamiento N50**

| Sales                | Cantidad (mg) | Pureza (%) | N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | P         | K          | Ca         | Mg        | S          | Cl         |
|----------------------|---------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| Nitrato de Calcio    | 200           | 0,9        | 31                                |                                   |           |            | 44         |           |            |            |
| Nitrato de Potasio   | 150           | 0,95       | 19                                |                                   |           | 55         |            |           |            |            |
| Sulfato de Potasio   | 520           | 0,9        |                                   |                                   |           | 210        |            |           | 76         |            |
| Sulfato de Magnesio  | 250           | 1          |                                   |                                   |           |            |            | 25        | 33         |            |
| Fosfato Monopotásico | 180           | 0,98       |                                   |                                   | 40        | 51         |            |           |            |            |
| Cloruro de Calcio    | 300           | 1          |                                   |                                   |           |            | 108        |           |            | 192        |
| <b>ppm (mg/l)</b>    |               |            | <b>50</b>                         | <b>0</b>                          | <b>40</b> | <b>316</b> | <b>152</b> | <b>25</b> | <b>109</b> | <b>192</b> |

**Soluciones madre (100x)**

**N50 a** disolver en 1 l de agua: (gramos)

|                    |    |
|--------------------|----|
| Nitrato de Calcio  | 20 |
| Nitrato de Potasio | 15 |

**N50 b** disolver en 1 l de agua: (gramos)

|                      |    |
|----------------------|----|
| Sulfato de Potasio   | 52 |
| Sulfato de Magnesio  | 25 |
| Fosfato Monopotásico | 18 |
| Cloruro de Calcio    | 30 |

**Solución de riego**

Para 1 litro de Solución de riego:

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>N50 a</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>N50 b</b>           | 10 cm <sup>3</sup>  |
| <b>Micronutrientes</b> | 1 cm <sup>3</sup>   |
| <b>Agua</b>            | 979 cm <sup>3</sup> |



**Tabla I.12. Solución nutritiva correspondiente a los micronutrientes  
(Steiner modificada)**

| <b>Solución madre (1000x)</b> |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| <b>Sales</b>                  | <b>Cantidad</b> |
| Disolver en 1 l de agua:      | (g)             |
| EDTA-Fe/Na                    | 5,130           |
| Sulfato de manganeso          | 0,730           |
| Sulfato de cobre              | 0,060           |
| Sulfato de zinc               | 0,060           |
| Ácido bórico                  | 0,590           |
| Molibdato sódico              | 0,012           |