



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

TITULACIÓN DE INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESPECIALIDAD HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA

**EFICIENCIA NUTRITIVA PARA NITRATOS EN DISTINTAS
VARIEDADES DE COL CHINA (*Brassica pekinensis*) EN SEMILLERO.**

ALUMNO:

Joaquín Suárez Salvador

DIRECTORES:

D. José Miguel Guzmán Palomino

D. Agustín Sánchez Prados

ALMERÍA, JULIO 2013.



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

TITULACIÓN DE INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
ESPECIALIDAD HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA

**EFICIENCIA NUTRITIVA PARA NITRATOS EN DISTINTAS
VARIEDADES DE COL CHINA (*Brassica pekinensis*) EN SEMILLERO.**

ALUMNO:

Joaquín Suárez Salvador

DIRECTORES:

D. José Miguel Guzmán Palomino

D. Agustín Sánchez Prados

ALMERÍA, JULIO 2013.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su cariño, apoyo y el ánimo que me han dado siempre; también por dedicar su vida a sus hijos y esforzarse en darnos una buena educación.

Eva Marcos, mi pareja y amiga, por su paciencia y por apoyarme y animarme siempre.

Jose Ignacio Marín, por su amistad, su inestimable ayuda, su tiempo y atención, y sus consejos, que han sido clave en la realización de este proyecto.

Jose Luis Romero, por su amistad y ayuda; fue la persona que en un principio me animó a hacer este trabajo.

Por último, aunque no por ello menos importante, doy las gracias a Miguel Guzmán y Agustín Sánchez por confiar en mí y darme esta oportunidad.

ÍNDICE GENERAL

1. INTERÉS Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Interés	2
1.3. Objetivos	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Semilleros hortícolas	5
2.1.1. Introducción	5
2.1.2. Estructura	6
2.1.3. Proceso productivo.....	7
2.2. Sustratos	8
2.2.1. Introducción	8
2.2.2. Clasificación	8
2.2.3. Características de los sustratos.....	9
2.2.4. Sustratos más utilizados en semilleros.....	14
2.3. Riego en semilleros.....	17
2.4. Abonado en semilleros.....	20
2.4.1. Introducción.....	20
2.4.2. Nutrientes.....	20
2.4.3. Soluciones nutritivas.....	21
2.4.4. Elaboración de las soluciones nutritivas.....	22
2.4.5. Influencia del pH.....	24
2.4.6. Conductividad eléctrica.	25
2.5. Tratamientos fitosanitarios.	26
2.5.1. Enfermedades.....	27
2.5.2. Plagas.	28
2.6. Calidad de las plántulas hortícolas.....	30
2.6.1. Análisis clásico del crecimiento.....	30
2.6.2. Crecimiento y desarrollo.....	31

2.6.3. Índices de crecimiento.....	33
2.6.4. Parámetros de calidad.....	41
2.6.5. Eficiencia nutricional y productividad en hortícolas.	48
2.6.6. Influencia del nitrógeno.	51
2.6.7. Eficiencia en el uso de nitratos (NUE).	53
2.6.8. Efecto contaminante de los nitratos.....	55
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	58
3.1. Características de la especie cultivada	59
3.1.1. Generalidades	59
3.1.2. Taxonomía y descripción botánica.	60
3.1.3. Necesidades edafo-climáticas.....	61
3.1.4. Material vegetal.	62
3.2. Descripción de las instalaciones.	64
3.2.1. Situación y orientación.	64
3.2.2. Estructura y dimensiones.	64
3.2.3. Descripción del semillero.....	64
3.3. Características del agua de riego y solución nutritiva.	65
3.3.1. Agua de riego	65
3.3.2. Solución nutritiva	66
3.3.3. Preparación de la solución nutritiva.....	73
3.4. Prácticas culturales.	74
3.4.1. Siembra	74
3.4.2. Germinación.	75
3.4.3. Riego.....	75
3.4.4. Tratamientos fitosanitarios.	76
3.5. Descripción del diseño	77
3.5.1. Sistema de muestreo.....	78
3.5.2. Tratamiento estadístico.	78
3.5.2.1. Análisis de la varianza.	79

3.5.2.2. Test de rango múltiple.....	79
3.5.3. Nomenclatura usada.	80
3.6. Preparación de las muestras.....	81
3.6.1. Parámetros físicos.....	82
3.6.1.1. Peso fresco.	82
3.6.1.2. Área foliar.....	82
3.6.1.3. Número de hojas.....	82
3.6.1.4. Peso seco.	83
3.6.1.5. Nitratos en hoja.	83
3.6.2. Índice de eficiencia en el uso de nutrientes.....	84
3.6.3. Índices de calidad.....	85
3.6.3.1. Porcentaje de peso seco.....	85
3.6.3.2. Relación peso seco aéreo - peso seco radical (PSA/PSR)..	85
3.6.3.3. Área foliar específica (SLA).	85
3.6.4. Índices de crecimiento.....	86
3.6.4.1. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca (Vcb).	86
3.6.4.2. Tasa de peso foliar (LWR).	86
3.6.4.3. Velocidad de crecimiento del área foliar (Vcaf).....	86
3.6.4.4. Índice de área foliar (LAI).....	87
3.6.4.5. Velocidad de diferenciación foliar (Vdf).....	87
3.6.4.6. Velocidad de asimilación neta (NAR).....	87
3.6.4.7. Velocidad de crecimiento relativo (RGR)	88
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
4.1. Parámetros físicos.....	90
4.1.1. Peso fresco total.....	90
4.1.2. Peso seco total.	92
4.1.3. Área foliar.	94
4.1.4. Número de hojas.	96
4.1.5. Concentración de nitratos en hoja.	98

4.2. Eficiencia en el uso de nitratos.....	101
4.3. Índices de calidad.....	103
4.3.1. Relación Peso seco - Peso fresco.....	103
4.3.2. Relación peso seco aéreo - peso seco radical (PSA-PSR).....	105
4.3.3. Área foliar específica (SLA).....	107
4.4. Análisis de crecimiento.....	110
4.4.1. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca total (Vcb). ..	110
4.4.2. Tasa de peso foliar (LWR).....	117
4.4.3. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar (Vcaf).	124
4.4.4. Índice de área foliar (LAI).	131
4.4.5. Velocidad de diferenciación foliar (Vdf).	138
4.4.6. Velocidad de asimilación neta (NAR)	144
4.4.7. Velocidad de crecimiento relativo (RGR).....	151
5. CONCLUSIONES.....	159
6. BIBLIOGRAFÍA.....	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y químico del agua de riego aplicada.	66
Tabla 2. Conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas empleadas.	68
Tabla 3. Solución nutritiva T1.....	69
Tabla 4. Solución nutritiva T2.....	70
Tabla 5. Solución nutritiva T3.....	71
Tabla 6. Solución nutritiva T4.....	72
Tabla 7. Resultados del peso fresco total	90
Tabla 8. Resultados del peso seco total.	92
Tabla 9. Resultados del área foliar.....	94
Tabla 10. Resultados del nº de hojas.....	96
Tabla 11. Resultados de la concentración de nitratos.....	98
Tabla 12. Resultados del índice de eficiencia en el uso de nitratos.....	101
Tabla 13. Resultados de la relación peso seco-peso fresco	103
Tabla 14. Resultados de la relación PSA-PSR	105
Tabla 15. Resultados del área foliar específica.....	107
Tabla 16. Vcb media de la variedad 9164.....	110
Tabla 17. Vcb media de la variedad Kasumi.....	112
Tabla 18. Vcb media de la variedad Elliot	113
Tabla 19. Vcb media de la variedad Asten.....	115
Tabla 20. LWR media de la variedad 9164.	117
Tabla 21. LWR media de la variedad Kasumi	119
Tabla 22. LWR media de la variedad Elliot	120
Tabla 23. LWR media de la variedad Asten.....	122
Tabla 24. Vcaf media de la variedad 9164.....	124
Tabla 25. Vcaf media de la variedad Kasumi.....	126
Tabla 26. Vcaf media de la variedad Elliot	127
Tabla 27. Vcaf media de la variedad Asten.....	129
Tabla 28. LAI media de la variedad 9164.....	131
Tabla 29. LAI media de la variedad Kasumi.....	133
Tabla 30. LAI media de la variedad Elliot.....	134

Tabla 31. LAI media de la variedad Asten.....	136
Tabla 32. Vdf media de la variedad 9164.....	138
Tabla 33. Vdf media de la variedad Kasumi.....	139
Tabla 34. Vdf media de la variedad Elliot.....	141
Tabla 35. Vdf media de la variedad Asten.....	142
Tabla 36. NAR media de la variedad 9164	144
Tabla 37. NAR media de la variedad Kasumi.....	146
Tabla 38. NAR media de la variedad Elliot.....	147
Tabla 39. NAR media de la variedad Asten	149
Tabla 40. RGR media de la variedad 9164	151
Tabla 41. RGR media de la variedad Kasumi.	153
Tabla 42. RGR media de la variedad Elliot	154
Tabla 43. RGR media de la variedad Asten.....	156

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Representación gráfica de la tasa media de crecimiento relativo	36
Gráfico 2. Representación del crecimiento exponencial, crecimiento sigmoideo y parámetros de eficiencia.....	51
Gráfico 3. Peso fresco total de la distintas variedades	91
Gráfico 4. Peso seco total de la distintas variedades	93
Gráfico 5. Área foliar de la distintas variedades	95
Gráfico 6. Número de hojas de la distintas variedades	97
Gráfico 7. Concentración foliar de nitratos de la distintas variedades	99
Gráfico 8. Eficiencia de uso de nitratos de las distintas variedades	102
Gráfico 9. Relación peso seco - peso fresco de la distintas variedades.....	104
Gráfico 10. Relación Peso seco aéreo - Peso seco radical por variedad	106
Gráfico 11. Área foliar específica de la distintas variedades	108
Gráfico 12. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca total de la variedad 9164.....	111
Gráfico 13. Velocidad de crecimiento medio de biomasa seca total de la variedad Kasumi.....	102
Gráfico 14. Velocidad de crecimiento medio de biomasa seca total de la variedad Elliot.....	114
Gráfico 15. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca total de la variedad Asten	116
Gráfico 16. Tasa de peso foliar de la variedad 9164	118
Gráfico 17. Tasa de peso foliar de la variedad Kasumi	119
Gráfico 18. Tasa de peso foliar de la variedad Elliot	121
Gráfico 19. Tasa de peso foliar de la variedad Asten	122
Gráfico 20. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad 9164.....	125
Gráfico 21. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad Kasumi.....	126
Gráfico 22. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad Elliot.....	128

Gráfico 23. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad Asten	129
Gráfico 24. Índice de área foliar de la variedad 9164	132
Gráfico 25. Índice de área foliar de la variedad Kasumi	133
Gráfico 26. Índice de área foliar de la variedad Elliot	135
Gráfico 27. Índice de área foliar de la variedad Asten	136
Gráfico 28. Velocidad de diferenciación foliar de la variedad 9164	138
Gráfico 29. Velocidad de diferenciación foliar de la variedad Kasumi	140
Gráfico 30. Velocidad de diferenciación foliar de la variedad Elliot	141
Gráfico 31. Velocidad de diferenciación foliar de la variedad Asten	143
Gráfico 32. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad 9164	145
Gráfico 33. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad Kasumi	146
Gráfico 34. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad Elliot.....	148
Gráfico 35. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad Asten	149
Gráfico 36. Tasa de crecimiento relativo de la variedad 9164.....	152
Gráfico 37. Tasa de crecimiento relativo de la variedad Kasumi	153
Gráfico 38. Tasa de crecimiento relativo de la variedad Elliot	155
Gráfico 39. Tasa de crecimiento relativo de la variedad Asten.....	156

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

El sector hortícola almeriense constituye un sector estratégico para la economía nacional y andaluza; su desarrollo ha provocado en las últimas décadas un enorme crecimiento socioeconómico y demográfico en la provincia. La importancia radica tanto en sus cifras de superficie, producción y comercialización, como en su capacidad de inducir actividad y actuar como motor de toda una industria auxiliar. Además, el sector cada vez depende más de la tecnología, especialmente en lo referente al manejo del suelo y clima que requieren las plantas para alcanzar su potencial productivo. El mejoramiento genético de las semillas, el injerto en plantas hortícolas, el incremento de la superficie con invernaderos y de cultivo sin suelo son algunos de los aspectos que explican el aumento de la productividad en los cultivos hortícolas. Almería con 47.866 de hectáreas, el 38% del total de Andalucía, es la provincia con más superficie dedicada a su cultivo, (Consejería de Agricultura y Pesca, 2009).

Hace ya más de un cuarto de siglo que el concepto de semillero se asociaba a una parcela de dimensiones reducidas, que se construía al amparo de las inclemencias climáticas en la propia explotación, donde se hacía germinar a la semilla y evolucionar las primeras fases de desarrollo de la planta. Las superficies de estas parcelas de germinación y crianza eran proporcionales a la parcela donde había que trasplantar (200-300 veces menor), en función de la estación del año en que sembrábamos y la especie de que se tratara.

En las dos últimas décadas han proliferado en España, sobre todo en el sureste peninsular, semilleros de plantas hortícolas que cambian el concepto de semillero tradicional por el de empresas de servicios, que en su doble faceta de germinadores de semillas y viveristas de plántulas, son un eslabón trascendental de la cadena productiva de los cultivos; su función primordial es producir, a partir de semillas, plántulas en condiciones óptimas para que, después del trasplante en el sustrato definitivo, tengan la capacidad de dar altos rendimientos; para ello, el equipo técnico del semillero debe conocer las necesidades de cada especie cultivada, e incluso de cada variedad, con objeto de minimizar el tiempo y los costes de producción de plántula sin comprometer la calidad. Este servicio le permite al agricultor la posibilidad de programar la fecha del trasplante con exactitud y optimizar el uso de la explotación.

1.2. Interés

El nitrógeno es uno de los nutrientes más decisivos en el crecimiento y desarrollo vegetal desde el momento de la emergencia de las primeras raíces activas hasta el final de la fase productiva de la planta, su presencia es primordial para la formación de nuevos tejidos. El potencial de producción de materia seca depende de la interceptación de la radiación por el dosel y de la actividad fotosintética de las hojas, y éstas requieren de una cantidad mínima de nitrógeno para presentar la máxima tasa de crecimiento, (Evans, 1989); por tanto, y teniendo en cuenta que la col china es una planta con una altísima capacidad fotosintética, cifrable en 1.060 g de materia fresca por planta, en 80 días (Peron y Lefevre, 1984), podemos intuir la importancia que tiene la disponibilidad de este elemento.

La velocidad de crecimiento en plántulas se puede relacionar con la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva dentro del rango 100-400 mg·l⁻¹ (Masson *et al.*, 1991). Entendiendo el crecimiento como la formación de nueva biomasa, a la cantidad de biomasa producida en la fotosíntesis por unidad de nutriente utilizado, se le da el nombre de eficiencia en el uso de los nutrientes (NUE), y ha recibido numerosas formulaciones e interpretaciones (Garnier & Aronson, 1998). Moll *et al.* (1982), definen NUE como el rendimiento en la producción de materia seca por unidad de nitrógeno disponible en el suelo, siendo el producto de dos factores fisiológicos: la cantidad de nitrógeno absorbido por el cultivo por unidad de nitrógeno disponible en el suelo y la eficiencia de utilización de nitrógeno, que relaciona producción de biomasa por unidad de nitrógeno absorbido.

Cuanto más eficientes sean las plántulas en el uso del nitrógeno, serán necesarios menos aportes de abono nitrogenado para acercarnos a la curva de concentración crítica de nitrógeno, la cual se define como la representación gráfica que relaciona la producción y acumulación de materia seca con la concentración de nitrógeno en la planta (Gastal & Lemaire, 2002); por debajo de esta curva, la plántula está viendo limitado su crecimiento a consecuencia de un déficit de nitrógeno, y por encima de ésta, el semillero no solo estaría derrochando recursos desde el punto de vista económico, sino que estaría poniendo en juego la calidad del plantel, pues sabemos que el trasplante en sí mismo implica un fuerte estrés para la plántula, y según León (1988), el exceso de nitrógeno hace a la planta más susceptible a agresiones provocadas por patógenos y otras condiciones de estrés. Varios estudios han demostrado que muchas especies de cultivos tales como tabaco (Ruiz *et al.*, 2006), y trigo (Giambalvo *et al.*, 2010) muestran variabilidad genética para NUE, así

que la selección y uso de genotipos con una alta NUE pueden contribuir positivamente reduciendo el impacto ambiental de los agro-ecosistemas, manteniendo altos rendimientos (Lynch, 1998), (Erley *et al.*, 2010).

En el suelo existen muchos puntos con carga eléctrica negativa, sobre todo en las arcillas y en la materia orgánica, siendo ésta la razón por la que el nitrato, NO_3^- , no se adsorbe en el suelo y es fácilmente arrastrado por el agua (Ramos y Ocio, 1992). Esto, unido a la aplicación de dosis excesivas de abonado y gran cantidad de agua en el riego, causa un incremento en la lixiviado de sustancias nitrogenadas, que son uno de los contaminantes más frecuentes en los acuíferos, e influyen notablemente en la contaminación medioambiental (Braun, 2007; Wilson & Albano, 2011).

Podemos ver que el nivel de incidencia de los semilleros en este problema no es nada despreciable si consideramos que la concentración de nitrógeno total en el lixiviado de los semilleros puede ser superior a 500 mg por litro (Juntunen *et al.*, 2003; Cregg *et al.*, 2004), y hasta el 60% del nitrógeno aplicado en abonado puede perderse con el agua (Thompson *et al.*, 2007), siendo de 20 a 100 kg de unidades fertilizantes de nitrógeno por hectárea y año la cantidad que se puede filtrar a las aguas subterráneas (Powlson, 1993).

Optimizando el uso del nitrógeno en el abonado y cultivando variedades más eficientes obtendremos plántulas de mejor calidad, a la vez que reducimos el gasto en abonos y la contaminación del medioambiente; por eso consideramos de gran interés, saber cuál la concentración mínima de nitratos que debemos aportar en la solución nutritiva durante la fase de semillero, para obtener la máxima calidad de plántula, y cual de las variedades comerciales de col china es más eficiente en el uso de nitratos.

1.3. Objetivos

- *Objetivo principal:* Determinar que variedades muestran un mayor aprovechamiento de los nitratos aportados en el abonado, es decir, mayor eficiencia en el uso de nitratos.
- *Objetivo secundario:* Averiguar que concentración de nitratos en la solución nutritiva produce plántulas de col china de mejor calidad.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Semilleros hortícolas

2.1.1. Introducción

El sistema productivo hortícola se inicia generalmente en empresas auxiliares dotadas de instalaciones especiales que permiten adaptarse a las también especiales exigencias que tienen las semillas para su adecuada germinación y las plantas en sus primeras fases de crecimiento. Las plantas producidas en vivero suelen ser en general sensibles y débiles, por lo que los primeros días de trasplante son críticos debido a la necesaria adaptación a un nuevo entorno edafológico y climático (Pina Lorca, 2008); así, estas empresas se han dotado de infraestructuras que permiten obtener la máxima expresión en el potencial biótico de la semilla con el objeto de obtener los resultados ideales en germinación, así como formar plántulas “a la carta” para el agricultor (Camacho, 2008), capaces de superar el estrés del trasplante.

Esta actividad es un notable ejemplo de externalización de un servicio que antes estaba interiorizado en cada explotación agraria. Al ir aumentando esta práctica fueron surgiendo un elevado número de empresas de capital local que dieron lugar a un sector caracterizado por un alto grado de atomización. Almería ocupa el liderazgo nacional y europeo en cuanto a número de empresas ubicadas en una región. Sin embargo, la dinámica competitiva está conduciendo a una consolidación de las empresas que alcanzan una cierta dimensión y ofrecen un servicio de calidad.

Las más importantes poseen instalaciones modernas y emplean procesos de producción muy tecnificados incorporando personal cualificado, invernaderos de última generación, sistemas automatizados de riego y abonado, instrumentos de control activo del clima y líneas de mecanización a lo largo de todo el proceso de crecimiento de la planta. Además, disponen de varios centros de producción ubicados en las principales zonas hortícolas de la provincia para reducir los costes de transporte y facilitar las visitas de los agricultores durante el proceso de germinación. Algunas de ellas realizan tareas de investigación y desarrollo orientadas hacia la mejora de los injertos y el desarrollo de nuevas variedades.

El objetivo es fomentar y mejorar la producción de plántulas hortícolas de calidad, dada la importancia y repercusión de esta actividad tanto desde el punto de vista económico como el ulterior éxito de las futuras plantaciones (Gil, 2005).

2.1.2. Estructura

Podemos diferenciar dos tipos de estructura, la física y la organizativa, según López- Aparicio (2005):

➤ **Estructura física.**

Los tipos de estructuras y el nivel de equipamiento de las mismas es variado y del más alto nivel tecnológico. El diseño de las instalaciones debe ir orientado a obtener un diagrama del proceso en las operaciones, de máxima racionalidad con el objetivo económico de máxima rentabilidad de la inversión; así, las principales secciones que se diferencian dentro de un semillero son:

- Área de recepción de personal y oficinas.
- Área de almacenaje de insumos.
- Área de siembra y pregerminación.
- Área de cabezales de fertirrigación y aplicaciones fitosanitarias.
- Taller de injertos.
- Área de crianza de plantas.
- Despacho de producto acabado.
- Lavadero.
- Área de almacenaje de bandejas.
- Instalaciones y maquinaria complementaria.

En algunos semilleros podemos encontrar que no existen algunas de estas secciones, y en otros casos, por el contrario, pueden estar diferenciadas y desarrolladas ampliamente.

➤ **Estructura organizativa.**

El organigrama suele ser piramidal, y en el vértice de la pirámide está la figura de la dirección, que puede adoptar formas muy diversas, desde un administrador

único hasta una sociedad cooperativa; el gerente y el responsable comercial son los encargados de ejecutar las directrices marcadas por la dirección; a jerarquía les sigue el jefe de calidad y por último, el departamento de producción, con el director técnico al frente.

2.1.3. Proceso productivo

El proceso productivo se divide además en los siguientes procesos, según López-Aparicio (2005):

- Encargo de siembra; es el primer punto de la cadena de trabajo. Aquí se inicia la trazabilidad de la planta encargada por el agricultor.
- Siembra; momento en el que físicamente se crea la partida.
- Germinación.
- Extendido; es fundamental sistematizar la forma de extender la planta de manera que cada partida quede correctamente identificada.
- La crianza de la planta desde su extendido hasta la expedición es el período que marcará la calidad de la planta entregada. En esta etapa es necesario un buen control del clima del invernadero, los abonados, los riegos y sustratos para poder servir el pedido en la fecha y condición adecuada.
- Carga; fase final del semillero en que la partida es retirada por el agricultor, o entregada por el semillero.

2.2. Sustratos

2.2.1. Introducción

El término “sustrato” se aplica en Horticultura a todo material sólido distinto del suelo, natural o de síntesis, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición vegetal (Abad, 1991).

2.2.2. Clasificación

➤ Según sus propiedades tenemos:

- *Químicamente inertes*: Arena, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.
- *Químicamente activos*: Turbas, fibra de coco, vermiculita, corteza de pino, etc.

La diferencia entre ambos tipos de materiales viene determinada por la capacidad de cambio catiónico, propiedad físico-química directamente relacionada con la capacidad de almacenamiento de los nutrientes por parte del sustrato (Abad, 1991).

En el primer grupo, el material actúa única y exclusivamente como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes; éstos han de suministrarse mediante la solución de fertilizante, que debe ajustarse al máximo con objeto de no crear disfunciones en la planta.

En el segundo caso, el sustrato, además de soporte para la planta, actúa como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal.

➤ Según el origen de los materiales:

- *Orgánicos*: Turbas, espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.
- *Inorgánicos*: Grava, arena, perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.

2.2.3. Características de los sustratos

Un elevado número de materiales pueden ser utilizados con éxito, bien separadamente o bien en mezcla, en la preparación de los medios de cultivo de las plántulas de semillero. La elección de un material particular viene determinada usualmente por (Bunt, 1988; Handreck & Black, 2002):

- *Suministro y homogeneidad.*

Un cambio en la calidad del sustrato puede llegar a alterar el sistema completo, pudiendo resultar finalmente en pérdidas graves de producción.

- *Coste.*

En una horticultura competitiva, el coste de los materiales utilizados es importante. Sin embargo, el coste del sustrato no debe invalidar otros aspectos o factores, ya que el material elegido debe permitir alcanzar el objetivo propuesto con el mínimo de riesgos o inconvenientes.

- *Propiedades.*

Las analogías y las diferencias entre los distintos materiales utilizados como sustratos pueden ser comprendidas más fácilmente si las características de dichos materiales se consideran agrupadas en propiedades físicas, propiedades químicas y propiedades fisiológicas.

- *La experiencia local en su utilización.*

Existen diferencias marcadas entre estas zonas en aspectos tales como estructura de los invernaderos y condiciones climáticas de los mismos, calidad de las aguas de riego, variedades y fechas de siembra, etc.

El factor individual más importante a la hora de elegir un determinado material como sustrato para la producción de plántulas de semillero es la ausencia de sustancias que sean tóxicas para la planta (Bunt, 1988; Handreck & Black, 2002). Un elevado número de materiales cumplen esta condición y pueden, por tanto, ser empleados con éxito, siempre y cuando su manejo esté adaptado a los requerimientos del medio y de la plántula.

Las propiedades que en mayor medida caracterizan a un sustrato y son necesarias para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y desarrollo de las plantas, son las siguientes, según Abad *et al.* (1995), Abad y Noguera (1998):

Propiedades físicas

- *Alta porosidad total.*

La porosidad total se define como el volumen total del medio no ocupado por partículas sólidas. Al hablar de porosidad nos referimos a la porosidad abierta, la ocluida, al no estar en contacto con el medio no tiene capacidad de intercambiar fluidos con él. El valor debe ser superior a un 85 % (Abad *et al.*, 1993).

- *Baja densidad aparente.*

Va referida al material sólido más el espacio poroso. En sustratos orgánicos nos da una idea del grado de descomposición, pues a mayor densidad aparente, mayor grado de descomposición. Debe ser inferior a $2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. (Abad *et al.*, 1993). Cuando se refiere al material sólido que lo compone hablaremos de densidad real. Los valores van de 1,4 a $2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

- *Elevada capacidad de retención de agua* fácilmente disponible.

Un sustrato saturado perderá agua a medida que la planta succione ésta. A medida que las raíces van extrayendo agua, en el sustrato irá quedando la que ocupe los poros más pequeños, por lo que habrá que aplicar fuerzas de succión cada vez mayores para extraerla.

Este parámetro depende a su vez de:

- *Granulometría.*

El mejor sustrato es aquel que presenta una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 micras, que equivale a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 mm y 2.5 mm. (Raviv *et al.*, 1986; Puustjärvi, 1994).

- *Índice de grosor.*

Se refiere al porcentaje de partículas con diámetro superior a 1 mm que hay en un volumen de sustrato. Se aceptan valores entre 30 % y 45 % (Abad *et al.*, 1993).

- *Altura del contenedor.*

Para un mismo volumen, retendrá más agua el que menos altura tenga, asimismo también varía la capacidad del contenedor según la geometría de éste (tronco-piramidal o rectangular).

- *Suficiente capacidad de aireación.*

Se define como la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de haberlo saturado con agua y haberlo dejado drenar libremente. Valor óptimo: 20-30 % (Abad *et al.*, 1993).

- *Estructura estable.*

Ante todo que no se contraiga ni se dilate y sea fluida.

- *Fácil de humedecer.*

Propiedades químicas y físico-químicas

- *pH.*

El pH debe ser ligeramente ácido, entre 5,3 y 6,5 (Abad *et al.*, 1993). A pH menor de 5 pueden aparecer deficiencias de N, K y Ca; y a pH mayor de 6 desciende la asimilabilidad de Fe, P, Mn, B, Zn, y Cu.

- *Elevada capacidad tampón.*

- *Capacidad de intercambio catiónico.*

Es la cantidad de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso del sustrato. Se expresa en miliequivalentes por cada 100 gramos de sustrato ($\text{meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Este aspecto tiene relevancia cuando la fertirrigación no se aplica de manera constante. En el caso de que sea así, interesa que la C.I.C. sea de moderada a elevada, o sea, mayor de $20 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Abad *et al.*, 1993).

La C.I.C. dependerá del pH, aumentando conforme aumente éste. Es debido a que los grupos ácidos de las sustancias húmicas pierden H^+ al aumentar el pH, con lo que aumenta la carga eléctrica negativa y en consecuencia aumenta la capacidad de adsorber cationes.

- *Salinidad.*

Concentración de sales en la solución del sustrato. Se mide por la conductividad eléctrica (CE) y los valores de referencia están entre 0.15 y 0.5 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ (Abad *et al.*, 1993).

La salinidad puede incrementarse por la presencia de fertilizantes insolubles, por sales aportadas al riego, o por una elevada C.I.C. del sustrato que se descompone y libera nutrientes.

Para paliar este incremento se puede lixiviar, mantener húmedos los cepellones, reducir el estrés mediante sombreo, aumentar la humedad relativa y no utilizar fertilizantes con elevada fuerza iónica.

- *Elevado contenido en materia orgánica.*

Mayor de un 80 %. La relación C/N indica el grado de madurez y estabilidad de un sustrato. Su valor está entre 20 y 40 (Abad *et al.*, 1993).

Depende del tipo de material que lo compone (hemicelulosa, celulosa o lignita), y de su mayor o menor resistencia al ataque microbiano (Ansorena, 1994).

Propiedades biológicas

- *Velocidad de descomposición.*

Debe ser mínima. Está ligada a los microorganismos y a las condiciones ambientales. Los efectos de la descomposición son el empeoramiento de las características físicas, disminución de la capacidad de aireación y disponibilidad de N, liberación de sustancias fitotóxicas, etc.

- *Producción de ácidos húmicos y fúlvicos.*
- *Actividad reguladora del crecimiento.*

Existe cierta actividad auxínica en los extractos de muchos materiales orgánicos.

Otras propiedades

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Reproducibilidad y disponibilidad.
- Bajo coste.
- Fácil de preparar y manejar.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

2.2.4. Sustratos más utilizados en semilleros

Los sustratos más utilizados en semilleros son la turba y fibra de coco de origen orgánico; y la lana de roca, perlita y vermiculita, de origen inorgánico.

Turbas

Es el sustrato por excelencia, se gastan anualmente en todo el mundo 35 millones de metros cúbicos de este material. Las turbas son vegetales fosilizados. Están constituidas principalmente por restos de musgos y de otras plantas superiores descompuestos de modo incompleto, a causa del exceso de agua y la falta de oxígeno (Lappalainen, 1996; Vasander, 1996; Strasburguer *et al.*, 2004).

El tipo de sustrato influye muy directamente en la disponibilidad de agua y nutrientes; en el caso de la turba, Shober *et al.* (2011), destaca las diferencias entre las pérdidas de N y P por lixiviado para varios tipos de sustratos.

Según el grado de descomposición se divide en turba rubia y turba negra.

La primera está ligeramente descompuesta, posee excelentes propiedades físicas y químicas, estructura mullida, elevada porosidad total, alta capacidad de retención de agua, aceptable contenido de aire, baja densidad aparente, alta C.I.C. y baja salinidad.

La turba negra está fuertemente descompuesta, es de color oscuro y ocupa los estratos inferiores. Posee una calidad inferior por haber perdido parte de su estructura. La congelación mejora su calidad.

Fibra de coco

Es el residuo resultante de la explotación del coco para la extracción de fibras. El resultado es polvo y fibras cortas que pueden dar lugar a un buen sustrato agrícola. Entre las propiedades físicas cabe destacar que tiene una gran capacidad de retención de agua (hasta 3 ó 4 veces su peso), una buena porosidad y una baja densidad aparente.

También hay que decir que los análisis de las propiedades físicas y físico-químicas presentan gran variabilidad, según su procedencia (Posadas, 1999).

Lana de roca

Es el producto que resulta de la fundición a 1600 °C y posterior extrusionado de rocas basálticas calcáreas y carbón de coque; el proceso da lugar a unas fibras que se tratan con un aglutinante y un agente hidrófilo para dar estabilidad.

En su composición química entran sílice, óxido de aluminio, calcio, hierro y magnesio. Es considerado como un producto inerte con una C.I.C. casi nula y un pH ligeramente alcalino.

En cuanto a sus propiedades físicas hay que destacar su gran porosidad y alta capacidad de retención de agua, estructura homogénea, y un buen equilibrio aire/agua. La distribución de la humedad y oxigenación dependerá de la distribución de las fibras (vertical, horizontal o crespada) y la altura del sustrato.

Vermiculita

Se obtiene por exfoliación de un tipo de micas sometidas a temperaturas de 800 - 1000 °C.

Propiedades físicas: buena capacidad de aireación, aunque con el tiempo tiende a compactarse disminuyéndola. Densidad aparente de 90 a 140 g • cm³ y volumen poroso del 95 % (sobre todo microporos, de ahí su alta capacidad de retención de agua).

Propiedades químicas: elevada C.I.C. (90-150 meq • 100 g) y puede contener hasta un 8 y un 12 % respectivamente de potasio y magnesio asimilables. El pH es neutro. Se clasifica en número 1, 2, 3 y 4 correspondiente a un tamaño de partícula de 5-6; 2- 3; 1-2 y 0,75-1 mm de diámetro respectivamente.

Su uso en semilleros se reduce a aislante y antievaporante. Al final de la siembra se añade una fina capa de vermiculita cubriendo el cepellón y evitamos que se reseque la parte más superficial del sustrato.

Perlita

Material obtenido por tratamiento térmico (1000-1200 °C) de una roca silícea volcánica del grupo de las riolitas. El resultado son unos gránulos blancos, vitrificados, muy ligeros debido a su porosidad ocluida (8,1 % volumen).

La perlita posee baja densidad aparente y una elevada porosidad, y en cuanto a sus propiedades químicas; C.I.C. es prácticamente nula (1,5 a 2,5 meq • 100 g⁻¹) y el pH es neutro (7-7,5).

Se comercializan distintos tipos de perlita para su uso como sustrato, que se diferencian en la distribución del tamaño de sus partículas y en su densidad. Entre éstos, merecen ser destacados (Marfá *et al.*, 1993; Martínez, 1993):

- A-13: diámetro de 3 y 5 mm. Densidad 100-120 g • cm⁻³.
- B-12: diámetro de 0 a 5 mm. Densidad 105-125 g • cm⁻³.
- B-10: diámetro de 0 a 3 mm. Densidad 105-125 g • cm⁻³.
- B-9: diámetro de 0 a 1,5 mm. Densidad 80-90 g • cm⁻³.
- B-6: diámetro de 0 a 1,5 mm. Densidad 50-60 g • cm⁻³.

2.3. Riego en semilleros.

El crecimiento del vegetal se ve seriamente afectado por el déficit hídrico, entre otras cosas porque hay pérdida de turgencia, alteraciones en los procesos básicos como fotosíntesis y respiración. Prácticamente se puede decir que es el principal factor limitante a nivel mundial para la producción de alimentos (Lallana *et al.*, 2004).

Un manejo óptimo del riego implica aplicar la cantidad de agua que el cultivo necesita y cuando el cultivo lo necesita y siempre teniendo en cuenta las características del sustrato. Para el establecimiento del manejo óptimo del riego se hace necesario conocer las necesidades de agua del cultivo, las necesidades de lavado, la eficiencia del riego, la capacidad de retención de agua del suelo, el asesoramiento al regante a tiempo real y la influencia del tipo de cultivo (Andreu *et al.*, 2006).

Algunos estudios han demostrado que un manejo controlado del riego y de la fertilización nitrogenada, basado en el mantenimiento de la concentración de NO_3^- en la solución del suelo, dentro de unos valores adecuados a las necesidades del cultivo, conjuntamente con un ajuste de las dotaciones de riego, permite reducir la contaminación por nitratos en el subsuelo sin perjudicar el rendimiento ni la calidad de la cosecha (Granados *et al.*, 2005; Jiménez *et al.*, 2006).

Los primeros trabajos realizados en la provincia de Almería con finalidad de mecanizar el riego en semilleros, no se llevaron a cabo hasta pasados algunos años de la introducción en la zona de éstos (Gómez, 1993), manifestándose una serie de problemas originados por:

- Falta de experiencia sobre utilización de micro-aspersores que conducía a utilizar algunos que no servían.
- Falta de uniformidad en el riego lo que conducía al efecto borde en las zonas periféricas del invernadero y de las bandejas.
- Dificultades para poner en saturación el sustrato seco.
- El gran volumen del cepellón dificultaba un buen humedecimiento.

- Falta de homogeneidad de las plantas causadas en parte por lo expuesto en los puntos anteriores y por la excesiva sectorización manifiesta en el elevado número de especies y variedades cultivadas.

Para solucionar todos estos problemas se pensó en varios sistemas, siendo uno de ellos colocar unos micro-aspersores, en el extremo de la bandeja o suspendidos boca abajo, que regasen en rectángulo y evitar con ello el efecto borde, pasando posteriormente a emplear nebulizadores para aumentar la humedad relativa del aire (HR) que entra en el semillero y con ello, la ventilación del mismo.

El problema que presenta la micro-aspersión es igual al del riego por aspersión, produciéndose encharcamientos en algunas zonas, quedando en cambio otras sin regar. Es fundamental el tamaño de la gota, ya que si es demasiado grande, puede ocasionar desperfectos por salpicaduras.

El funcionamiento de la instalación de aspersión no debe considerarse para aspersores aislados, sino que éstos son elementos integrantes de un conjunto.

En una distribución rectangular, la distancia máxima admisible entre aspersores en el ramal y entre dos ramales en posiciones consecutivas es de $R \cdot \sqrt{2}$ (R es el radio de alcance del aspersor), con lo que se obtiene una cobertura práctica del 63,3 % de la superficie dominada por el alcance del aspersor. Para la distribución triangular, la distancia máxima entre dos aspersores del ramal será de $R \cdot \sqrt{3}$ y entre dos posturas consecutivas del ramal será de $1.5 \cdot R$; la cobertura práctica es del 82,6 % de la superficie dominada por el aspersor (Losada, 2009).

Para definir el grado de uniformidad de un aspersor se utiliza el coeficiente de uniformidad (CU) desarrollado por Christiansen, que es una representación estadística de la uniformidad utilizada principalmente en los sistemas de aspersión; es el parámetro de uniformidad de uso más generalizado.

En sistemas de riego por aspersión estacionario se recomiendan valores de CU mayores al 80 %, aunque depende de la velocidad del viento (Tarjuelo, 2005). Se expresa en porcentaje mediante la expresión siguiente:

$$CU (\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=0}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot x} \right)$$

donde:

x_i = altura de agua recogida por cada pluviómetro,

\bar{x} = altura media de agua recogida en el total de los pluviómetros

n = número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

Aspersores admisibles son los que presentan un grado de uniformidad superior al 80 %, con vientos de hasta $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Lozano, 1983).

La implantación de nuevas técnicas de cultivo en semilleros afecta tanto a las estructuras de los mismos como a su control ambiental y sanitario, sin faltar por supuesto las novedades en el campo del riego. Así aparecen los carros o barras de riego, que se desplazan de mayor a menor velocidad, por un raíl situado en el techo del invernadero, de un lado a otro de éste en sentido longitudinal, aplicando el agua en forma de fina cortina, con el consiguiente ahorro y aumento del índice de uniformidad.

Otro sistema de riego utilizado en los semilleros es el de la inundación (sub-irrigación) de las bandejas dentro de balsas de hormigón tratado con productos no alterables por los nutrientes.

2.4. Abonado en semilleros.

2.4.1. Introducción.

Para las plantas cultivadas en condiciones intensivas el objetivo es, habitualmente, impedir que el suministro de nutrientes imponga limitaciones de rendimientos. Para actuar así es necesario que las plantas dispongan de todos los nutrientes minerales esenciales y que la velocidad de suministro de cada uno sea, al menos, igual a la demanda del cultivo.

El conocimiento de las principales funciones biológicas de los elementos nutritivos en la planta, el modelo de crecimiento y absorción de los nutrientes, los niveles de éstos en el suelo y las concentraciones en los tejidos vegetales, como también las exigencias nutricionales de cada especie, son una herramienta importante para la correcta planificación del abonado.

2.4.2. Nutrientes.

El análisis químico del material vegetal permite revelar la presencia de un gran número de elementos químicos, algunos de ellos esenciales para la vida de la planta, mientras que otros no lo son. De acuerdo con lo propuesto por Arnon y Stout, y posteriormente modificado por Epstein, deben ser satisfechos los requisitos siguientes para que un elemento sea considerado como esencial (Jones, 2005):

- Cuando en ausencia de un determinado elemento la planta no puede completar un ciclo biológico.
- La acción del elemento debe ser específica, es decir, ningún otro elemento puede sustituirlo totalmente.
- El elemento debe estar implicado directamente en la nutrición vegetal, bien como constituyente de un metabolito esencial, o en que sea requerido para el funcionamiento de una enzima.

Las plantas necesitan 16 elementos diferentes e insustituibles para desarrollarse correctamente. Estos elementos denominados esenciales son los siguientes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Mo, y Cl.

Estos elementos esenciales se clasifican en macro y micronutrientes, según sean requeridos por los vegetales en grandes o pequeñas cantidades.

Macronutrientes: O, C, H, N, P, K, Ca, Mg y S.

Micronutrientes: B, Cu, Fe, Zn, Mn, Mo y Cl.

Si hay deficiencia de un elemento se compromete el resultado productivo de la planta. También sucede esto si hay un exceso, con el agravante que en este caso se produce contaminación del ambiente (Magnifico *et al.*, 2008).

Cuando un elemento esencial no está presente en cantidad suficiente en el suelo, o no está disponible para las plantas, se producen alteraciones en el crecimiento y/o desarrollo de las mismas.

Algunos autores (Nátr, 1992; Levitt, 1990) consideran que los nutrientes minerales actúan como un factor de estrés omnipresente para la fotosíntesis en la mayoría de los cultivos en sus condiciones ambientales naturales.

Osmond *et al.* (1987), definieron al estrés como “algún factor que disminuye el crecimiento y la reproducción de la planta por debajo del potencial dado por el genotipo”.

Según Resh (1992), las proporciones entre los distintos elementos se establecerá en función de la especie de planta, el ciclo de cultivo, el desarrollo de la planta y las condiciones climáticas, especialmente la intensidad o duración de la iluminación.

2.4.3. Soluciones nutritivas.

La utilización de soluciones nutritivas se remonta a 1679, cuando Mariotte cultivó por primera vez plantas en un medio acuoso. Se realizaron estudios intensivos de cultivo de plantas sin suelo, y aunque estos pioneros desconocían el significado de ciertos factores como la aireación de las raíces, formularon más o menos satisfactoriamente soluciones nutritivas bastante similares a las utilizadas hoy en día.

Hoagland, que puede considerarse como el padre de la moderna nutrición de la planta, formuló en 1920 una solución nutritiva que fue satisfactoria para el desarrollo de muchas plantas, cuya composición en ppm. era la siguiente: K^+ , 190; Ca^{2+} , 172; Mg^{2+} , 52; PO_4^{3-} , 117; NO_3^- , 700; SO_4^{2-} , 202.

A partir de 1930 la investigación estuvo dirigida principalmente a profundizar en el conocimiento de funciones fisiológicas de los elementos esenciales, relaciones entre los distintos nutrientes, mecanismos por los que los iones son absorbidos por las plantas y translocación de los distintos nutrientes inorgánicos.

Posteriormente en 1950, Hoagland y Arnon formularon la solución nutritiva que se conoce con este nombre y que probablemente ha sido la más universalmente utilizada. Últimamente esta solución se utiliza con excelentes resultados a la mitad de las concentraciones iniciales para la experimentación con plántulas.

Cualquier disolución nutritiva, básicamente tiene que tener seis macronutrientes; nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. También es necesaria la presencia de micronutrientes; hierro, cobre, cinc, manganeso, boro y molibdeno (Cerdá, 1993).

Los nutrientes no funcionan aisladamente. Es importante la interacción entre nutrientes ya que la deficiencia de uno condiciona la absorción y uso de otro.

Numerosos estudios han demostrado la importancia del balance de nutrientes. Por ejemplo, en un estudio de maíz de altos rendimientos (Gordon, 2005) se añadieron tratamientos para evaluar el impacto de los nutrientes individuales y en combinación.

2.4.4. Elaboración de las soluciones nutritivas.

Masson *et al.* (1991) encontró que la velocidad de crecimiento de las plántulas vegetales se puede relacionar con la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva dentro del rango de 100-400 $mg \cdot l^{-1}$. Si la concentración de nutrientes excedía esos niveles, a menudo, el crecimiento se veía disminuido, presumiblemente por efecto de la salinidad (Endo *et al.*, 2013).

Durany (1982), afirmó que el nivel de nitrógeno debe permanecer más bajo (N=80-90 ppm) para las especies que producen frutos que para aquellas que producen hojas (N=140 ppm). Para las especies que se cultivan por sus raíces, el potasio debería ser más alto (K=300 ppm).

Para Pérez-Melián (1977), por definición, una solución nutritiva, es una solución acuosa que contiene oxígeno disuelto y todos los nutrientes totalmente disociados. Dentro de estos elementos se encontrarán los denominados macroelementos, N, P, K, Ca, Mg, y S, y los microelementos Fe, Mn, Cu, Zn, B y Mo.

Según el método de Pérez-Melián, estos macroelementos estarán a su vez divididos entre cationes y aniones, en donde el nitrógeno estará como NO_3^- , el fósforo en forma de H_2PO_4^- , el azufre de SO_4^{2-} , y los cationes como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Estos iones en disolución guardarán entre sí una relación que está marcada por factores de *tipo químico* y por factores de *tipo fisiológico* en función de las necesidades nutritivas de un determinado cultivo, lo que serían las concentraciones mínimas y máximas.

Unificando estos dos criterios, tanto químico como fisiológico, a un determinado pH, nos encontramos con unas zonas de concentraciones relativas en cuyo interior debe estar la composición de una determinada solución nutritiva. La relación entre los nutrientes, la concentración total de estos y el pH nos marcará la solución final.

Vincenzoni (1980), señala que la proporción de nitrógeno nítrico/amoniaco, debe ser más elevada en el invierno y más baja en verano, de acuerdo con las condiciones lumínicas.

Existen estudios en los que se señala la conveniencia de tener controlada la relación N/K. Según Resh (1992), en invierno, esta relación debe reducirse a la mitad que en el verano, debido a que la iluminación es mucho menor y las plantas necesitan menos nitrógeno.

En cuanto al establecimiento de las mezclas, Ellis y Swaney (1967), señalan que existen dos posibilidades:

- preparar para cada elemento nutritivo antes de proceder a la mezcla, una solución madre concentrada.
- añadir directamente y por separado las sales secas al agua, siempre que los productos químicos sean compatibles.

Resh (1992), aconseja disolver individualmente cada sal y aportarla posteriormente al tanque de la solución que posea un 10 % de volumen final aportando en primer lugar los micronutrientes y después los macronutrientes, disolviendo como se ha señalado anteriormente, en primer lugar los sulfatos y a continuación los nitratos y fosfatos. Posteriormente ajustar el pH de la solución entre 6 y 6,5 añadiendo ácido sulfúrico o hidróxido potásico.

Vincenzoni (1980), indica que en primer lugar deben disolverse las sales más solubles y ácidas, utilizando al menos el 75 % del agua necesaria.

Olson *et al.* (1971), recomienda la elaboración de dos soluciones madres altamente concentradas, una para macroelementos y otra para microelementos, que posteriormente se mezclan y diluyen en la formación de la solución nutritiva.

Realmente no hay soluciones nutritivas únicas para cada planta, sino que existen en la literatura científica, diferentes soluciones, fruto de la experimentación de diversos autores, que se han ensayado con mayor o menor éxito en distintos cultivos y condiciones.

2.4.5. Influencia del pH.

La competición entre H^+ y otros cationes, y OH^- con otros aniones tiene una gran importancia en la nutrición mineral de las plantas. Generalmente, en cultivo hidropónico, el pH está por debajo de 7, por lo que la interacción entre H^+ y otros cationes adquiere mayor relevancia. Un típico ejemplo de esta interacción es cuando, en ausencia de Ca^{2+} aumentamos la concentración de H^+ , la absorción de K^+ disminuye rápidamente. Por debajo de pH 4 se produce una pérdida neta de K^+ por las raíces.

La explicación de la disminución en la absorción de K^+ en el rango de pH 4-7 puede ser explicada por una competencia directa por los sitios de absorción. A pH 4 o menos, se puede producir una despolarización de la membrana por la entrada a favor de gradiente de H^+ , cambiando el gradiente electroquímico de K^+ a ambos lados de la membrana pudiendo producir una difusión de K^+ hacia el exterior.

La absorción de otros elementos como Ca, Mg y Mn son afectados por pH bajo. Sin embargo, la absorción de aniones no se ve afectada por pH bajo o incluso a veces puede observarse un ligero aumento de ésta (Martínez, 1993).

Según Martínez, el efecto del pH sobre la absorción de N depende de la fuente que estemos utilizando; NH_4^+ ó NO_3^- . Bajando el pH desde 7 a 4 disminuye la absorción de NH_4^+ y aumenta la de NO_3^- .

El control del pH de la solución nutritiva resulta de suma importancia y deberá estar acorde con la planta que se está cultivando. La mayor parte de las plantas cultivadas pueden tolerar soluciones nutritivas con pH comprendidos entre 5 y 6.5, aunque lo normal en soluciones comerciales es que el pH esté comprendido entre 6 y 6.5. Un pH demasiado alcalino puede provocar la precipitación del hierro, manganeso, fosfato, calcio y magnesio en forma de sales insolubles, no asimilables para la planta, mientras que soluciones con pH demasiado ácidos pueden inducir deficiencias de calcio y baja utilización de los cationes amónicos (Ellis & Swaney, 1967).

2.4.6. Conductividad eléctrica.

Uno de los componentes del potencial hídrico que contribuyen a que el agua quede retenida en el sustrato, oponiéndose por tanto a su paso al interior de la planta, es la tensión osmótica. Su valor es tanto mayor cuanto más elevada sea la concentración de iones disueltos, por lo que si ésta se eleva excesivamente, la planta puede llegar a padecer un déficit hídrico, semejante al que se produce en condiciones de sequía.

La salinidad de una solución acuosa se mide por su contenido en sales disueltas ($mg \cdot l^{-1}$ o ppm) y de forma indirecta, aunque más comúnmente, por su capacidad para conducir la corriente eléctrica o conductividad, expresada en decisiemens por metro ($dS \cdot m^{-1}$) a 25°C.

La conductividad eléctrica del agua (CE) aumenta linealmente a medida que se eleva su concentración salina.

Hay que señalar que existen algunas relaciones que pueden obtenerse a partir de las determinaciones anteriores y que pueden resultar muy interesantes para los cálculos posteriores. Las relaciones que presentan mayor interés son las siguientes:

- La suma de cationes ha de ser igual a la suma de aniones, expresadas ambas en equivalentes o miliequivalentes por litro ($\text{eq} \cdot \text{l}^{-1}$ o $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$).
- La relación entre la cantidad total de sales disueltas (SD), expresada en $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, y la CE, en $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, es una recta que pasa por el origen de coordenadas y tiene como pendiente 0,64 (Abad *et al.*, 1998).
- La relación entre la conductividad eléctrica medida en microsiemens $\cdot \text{cm}^{-1}$ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) y la suma de cationes o de aniones expresada en $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ es aproximadamente igual a 100.
- El cociente entre las sales disueltas, expresadas en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y la suma de aniones o cationes, en $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$, es aproximadamente 0,64.

Mientras más alta es la relación N/K, más bajos serán los valores de conductividad eléctrica en la solución nutritiva (Resh, 1992). Los iones de nitrato no producen una correlación tan aproximada con la conductividad eléctrica como lo hacen los iones de potasio (Alt, 1980).

2.5. Tratamientos fitosanitarios.

En general, no suele haber grandes problemas sanitarios en los semilleros de hortícolas; ello es debido a la escasa duración del cultivo, pues las plantas no suelen estar más de 60 días, ya que las adecuadas instalaciones permiten un manejo adecuado; sin embargo, podrían darse plagas y enfermedades por mal manejo, por solape de monocultivo a lo largo de un periodo extenso o por entrada del exterior (Aguado *et al.*, 2005).

Es por ello que las plántulas cultivadas en los semilleros deben ser vigiladas y hay que mantener un carácter preventivo en cuanto a tratamientos fitosanitarios se refiere, sobre todo si tenemos en cuenta que estamos trabajando con un material especialmente sensible y debido a su inmadurez.

Como norma general, para evitar la introducción de enfermedades o plagas, se deberá restringir el paso de personal ajeno al semillero a la zona de producción. En caso de visitas, es altamente recomendable el uso de buzos y calzas de material desechables.

Los semilleros que hayan tenido problemas sanitarios, al menos una vez al año deberían hacer un “vacío sanitario”. Este consiste en sacar o no tener nada de planta y hacer una desinfección general de todo el habitáculo, utensilios, bandejas, carros etc. para comenzar de nuevo con una presión de plaga o enfermedad muy baja o nula.

El uso de bandejas de poliestireno implica tener que hacer desinfecciones e impermeabilizaciones para evitar el arraigue en las paredes del alvéolo, mediante productos adecuados.

2.5.1. Enfermedades.

Las enfermedades más comunes que pueden afectar a las plántulas de semillero son de carácter fúngico principalmente, aunque agentes fitopatógenos tales como virus y bacterias, pueden ocasionar mortalidades de plantas en semilleros, pero lo más común es que estas enfermedades sean producidas por diversos hongos de suelo; entre estos cabe destacar los siguientes:

Pythium spp., *Phytophthora spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Chalara elegans* (syn. *Thielaviopsis basicola*), y *Fusarium oxisporum sp. Melonis* (Gómez, 1993).

En cuanto al control, es conveniente tener en cuenta las siguientes medidas preventivas y un correcto manejo cultural:

- Lo primero es intentar impedir la entrada del patógeno en el semillero. Para ello las semillas deben estar exentas de patógenos. Las semillas certificadas oficialmente garantizan cierta sanidad fitosanitaria, por ello es siempre recomendable su empleo.

- Una operación relacionada con la adecuación fitosanitaria del sustrato es la incorporación al mismo de fungicidas preventivos, tratamiento que puede desplazar la necesidad de desinfectar el sustrato cuando esta operación es realmente necesaria. La desinfección del sustrato se puede realizar mediante solarización, metan sodio, metan potasio, etc. Los fungicidas se aplican al sustrato para mejorar el control de problemas específicos.
- Para reducir los riesgos de introducción de patógenos en el agua de riego es recomendable que los depósitos, balsas, pozos y conducciones sean cerrados o estén cubiertos a fin de evitar que caiga polvo y restos vegetales que podrían ser una fuente de inóculo.
- Es necesario también mantener el semillero limpio, para ello es obligado la pronta eliminación de los restos vegetales desechados, plántulas con síntomas, restos de sustratos usados y malas hierbas.
- La aplicación al sustrato de cepas seleccionadas del género *Trichoderma* puede ser una buena alternativa para el control de muertes de plántulas en los semilleros.

Las materias activas empleadas y autorizadas según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAPYA, 2013) en semilleros hortícolas, para combatir estas enfermedades en los semilleros de Almería son fundamentalmente: Propamocarb 72,2 %, Coniothyrium Minitans, Ditanona, Dazomet, Metalaxil, Tiram.

2.5.2. Plagas.

Otro agente molesto para las plántulas lo constituyen el gran número de plagas que las atacan. Para luchar contra éstas, se suelen hacer tratamientos fitosanitarios semanales con algunas de las siguientes materias activas permitidas por MAPYA, (2013).

Tiametoxam, Fluroxipir + Triclopir, Acrinatrin, Abamectina, Piriproxifen.

La introducción de estos patógenos en el semillero puede tener múltiples orígenes: sustrato de cultivo, contenedor reutilizado, estructuras, semilla, agua de

riego, diseminados por el viento, personal, herramientas, a partir del suelo contaminado, de otros cultivos enfermos, malas hierbas infectadas o restos infectados de cultivos anteriores.

Las incidencias más altas suelen coincidir con temperaturas bajas, que aunque desfavorable también para el patógeno, prolongan el periodo susceptible del huésped, al retrasar su crecimiento. En este sentido, cualquier estrés ambiental al que sometamos a la plántula (encharcamiento, escasa intensidad luminosa, salinidad elevada, desequilibrios nutricionales, fitotoxicidad por plaguicidas, heridas, etc.) incrementarán la susceptibilidad de la plántula.

2.6. Calidad de las plántulas hortícolas.

2.6.1. Análisis clásico del crecimiento.

La necesidad de conocer los eventos que ocurren antes de la obtención de un resultado final, o cosecha de un cultivo, ha preocupado a los investigadores desde los inicios de la aplicación del método científico en la agricultura.

A mediados del siglo pasado, Justus von Liebig postuló la ley del mínimo, según la cual, la ausencia o deficiencia de un constituyente esencial en el suelo, aún cuando todos los demás estén presentes en cantidad suficiente, limita el crecimiento de un cultivo al nivel de rendimiento correspondiente al del elemento deficiente.

Hacia 1880, fueron publicados en Alemania numerosos trabajos de Kreuzler que incluyeron análisis del crecimiento vegetal.

En 1905, Blackman planteó una teoría complementaria denominada factores óptimos y limitantes, donde señaló que cuando un proceso está condicionado por la velocidad de varios factores, la tasa de cambio del proceso es limitada por la velocidad del factor más lento.

Cuatro años después, Misterlich planteó una respuesta curvilínea y asintótica al aumento de un nutriente denominada la ley de los retornos decrecientes. Según su enfoque, el incremento de cualquier cultivo producido por una unidad de aumento del factor deficiente es proporcional al decrecimiento de ese factor con respecto a la respuesta máxima, es decir, la asíntota.

El análisis del crecimiento alcanzó una mejor configuración alrededor de 1920, a partir de las experiencias acumuladas por la escuela inglesa conformada por Gregory, Blackman y Briggs. Posteriormente, en 1952, Watson aplicó la metodología de esta escuela dando origen al enfoque clásico (Werner & Leihner, 2006).

La escuela inglesa se planteó el problema de cómo evaluar cuantitativamente el crecimiento de plantas aisladas, lo que nos lleva al análisis del crecimiento a partir del estudio de plantas individuales. En esta situación, la planta crece sin experimentar la interferencia o competencia de otros individuos por los recursos agua, nutrientes, luz y espacio; una condición ajena a la realidad de la mayor parte

de las plantas cultivadas. Esta abstracción, sin embargo, facilita la comprensión de los conceptos básicos sobre los que se basa el análisis del crecimiento vegetal.

El análisis de crecimiento ha sido ampliamente usado para cuantificar el patrón de distribución de materia seca en las plantas (Santamaría *et al.*, 1993). Los parámetros de crecimiento varían entre y dentro de las especies y también por acción de los nutrientes y la disponibilidad hídrica (Hedge, 1986).

La tasa de producción se puede medir en términos del incremento del peso seco, materia orgánica, carbón, dióxido de carbono, o energía solar fijada, etc. Estas medidas se pueden transformar por las siguientes aproximaciones:

Un gramo de material vegetal seco tiene un equivalente de 17 kJ, o bien 0.4 g de C, o bien 1.5 g de CO₂.

En investigaciones más detalladas estas equivalencias deben establecerse separadamente para cada tipo de material vegetal. El cociente de energía fijada en el peso seco de la planta es una medida de la utilización de la energía solar incidente en el mismo periodo de tiempo.

2.6.2. Crecimiento y desarrollo.

El *crecimiento* se define como aumento de tamaño de la planta. El aumento puede ser en materia seca o en dimensiones, y se origina como consecuencia de la formación de nuevas células, de la expansión de las células constituyentes y de la producción de asimilados. La velocidad de crecimiento se expresa, en consecuencia, como aumento de peso, volumen, área o longitud por unidad de tiempo.

El *desarrollo* es el paso de la planta, desde la germinación hasta la madurez, por una serie de fases fisiológicas que, en la mayor parte de los cultivos están bien definidas.

En general, los principales factores que influyen en la velocidad de desarrollo son la temperatura y el fotoperiodo, mientras que los que determinan la velocidad de crecimiento son más numerosos e incluyen, además de luz, el CO₂, los nutrientes y el agua (Gregory *et al.*, 1992).

Las variaciones naturales del crecimiento de las plantas exigen el uso de muestras grandes para garantizar la representatividad de la población. La determinación del tamaño óptimo de una muestra requiere la ejecución de estudios de uniformidad, en los que el coeficiente de variación asociado con diferentes tamaños de muestra es relacionado con su varianza.

En esta forma, es posible prever qué error o grado de incertidumbre corresponde a cada tamaño de muestra y variable de respuesta. También es importante la determinación de la cantidad de trabajo que demanda el uso de cada tamaño de muestra, (Biscoe & Jaggard, 1985).

Se puede analizar el crecimiento con la técnica *clásica* o con la *funcional*.

La técnica *clásica* es aquella en la que el curso de los eventos es seguido a través de una serie de datos tomados a intervalos no muy frecuentes, pero con muchas repeticiones; y la técnica *funcional* consiste en tomar medidas muy frecuentemente, con pocas repeticiones y hacer un ajuste curvilíneo de los datos (Hunt, 1982).

Estos enfoques no son excluyentes (Radford, 1967; Hunt, 1978), y el estudio de la dinámica del crecimiento tiene como objetivo la comprensión e interpretación de los procesos fisiológicos con que la planta responde a un factor ambiental al que fue sometida, como ser los diferentes tratamientos de fertilización; sin embargo, el enfoque clásico es más adecuado cuando el propósito principal de una investigación no es la descripción del crecimiento, sino la comparación del efecto de tratamientos de interés sobre éste.

En este trabajo se ha utilizado el método clásico y el cálculo de los índices de crecimiento se efectuó como un valor medio en un intervalo de tiempo comprendido entre dos sucesivos muestreos, según las consideraciones de Radford (1967), Evans (1972) y Hunt (1978).

Para Krug y Fólster (1976), el rango exponencial de la curva de crecimiento que aparece durante el desarrollo de plántulas, puede ser descrito fisiológicamente por medio de una función exponencial simple de la siguiente forma:

$$W(t_1) = W_0 \cdot e^{b(t_1-t_0)}$$

Donde:

- W es el peso en un momento " t_1 " determinado.
- W_0 es el peso para t_0 (primera medida)
- b = coeficiente de la pendiente y velocidad de crecimiento relativo

2.6.3. Índices de crecimiento

El análisis del crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, *et al.*, 2002).

En cualquier sistema biológico, el crecimiento es la consecuencia de la división celular (incremento en número) y de la elongación celular (aumento en tamaño). La humedad de los tejidos se excluye de los estudios de crecimiento debido a que es la masa seca la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Werner & Leisher, 2006).

El análisis de crecimiento de plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo ó relative growth rate (RGR), la razón de peso foliar ó leaf weight rate (LWR), la tasa de asimilación neta ó net assimilation rate (NAR), y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Ascencio y Fargas, 1973; Leopold, 1975; Hunt, 1990; Hunt *et al.*, 2002).

Lallana *et al.* (2004), recomienda también el cálculo del índice de área foliar ó leaf area index (LAI) y los ratios de crecimiento de biomasa y área foliar en función del tiempo; velocidad de crecimiento de biomasa (V_{cb}), y velocidad de crecimiento del área foliar (V_{caf}), respectivamente.

Mientras los primeros; peso seco, longitud, etc, tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos; tasas de crecimiento, explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud *et al.*, 1995).

Los valores absolutos de la tasa de producción de materia seca dependen de la cantidad de material vegetal en crecimiento. Esta característica da un gran valor

ecológico a las parcelas, pero disminuye su valor cuando se hacen comparaciones de la tasa de crecimiento entre plantas individuales de diferentes tamaños.

La idea básica de modelar el crecimiento y la producción de materia seca como en un cálculo monetario, nos conduce al concepto "índice de eficiencia", definido a principios del siglo pasado por Blackman, en el que las tasas de crecimiento se expresan como la tasa de interés sobre un capital. Esto es idéntico al concepto presente de la tasa de crecimiento relativo (Lallana *et al.*, 2004).

RGR en cualquier instante, se define como la tasa de incremento en la biomasa por unidad de biomasa presente. Blackman propuso una ecuación para relacionar el peso inicial (P_1) con el peso final (P_2), considerando tanto el tiempo transcurrido ($t_2 - t_1$), como un índice de eficiencia de la planta para producir materia seca (R). La expresión calcula R como un valor promedio durante el intervalo de tiempo ($t_2 - t_1$) y por ello es igual a RGR, que relaciona la velocidad de crecimiento con el peso que acaba de ser alcanzado e indica la eficiencia por la biomasa total.

$$P_2 = P_1 \cdot e^{RGR \cdot (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Al extraer el logaritmo natural a ambos términos de la ecuación y reformularla, podemos despejar RGR. Para algunas aplicaciones, por ejemplo, cuando se desea comparar el valor de RGR entre diferentes fases de crecimiento, es más útil conocer su valor instantáneo, es decir, la tasa instantánea de crecimiento relativo (TICR), que en la notación de cálculo es igual a:

$$TICR = \frac{d(\ln P)}{dt} \quad (2)$$

TICR no es un valor constante, sino que varía conforme la planta atraviesa diferentes fases de crecimiento. RGR es un concepto más general referido a un valor promedio entre dos momentos consecutivos y es, por ende, menos variable.

Matemáticamente, RGR puede calcularse a partir de la ecuación 1 para el intervalo delimitado por t_1 y t_2 , como:

$$RGR = \ln(W_2 - \ln W_1) \cdot (t_2 - t_1)^{-1}$$

Durante el crecimiento exponencial, RGR es constante. Fuera de la fase exponencial, RGR decrece debido a un incremento de la porción de tejidos improductivos, sombreado mutuo y otros factores.

En la práctica, los valores de la TIGR (ecuación 2) cambian poco a poco con el tiempo, y sus modificaciones pueden ser seguidas mediante el muestreo frecuente de las plantas, es decir, con diferencias de $(t_1 - t_2)$ pequeñas. Si el intervalo de tiempo entre muestreo y muestreo es muy grande, RGR no representará adecuadamente a la TIGR.

Esta aseveración puede constatarse a partir del análisis de la gráfica 1 (siguiente pág.), donde podemos ver que el logaritmo natural del peso seco con respecto al tiempo no es lineal, sino que describe una curva.

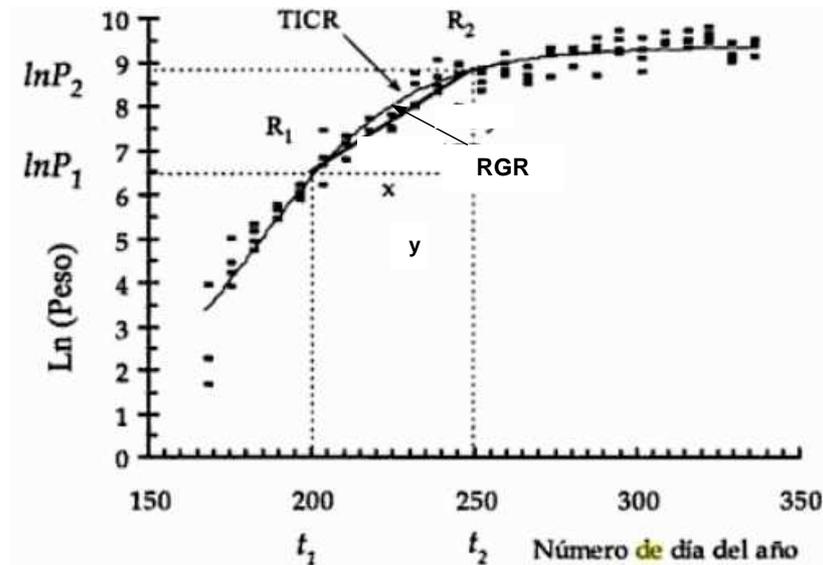
Llegados a este punto tenemos que considerar que las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo. Su elaboración es indispensable para la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado y garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con nuestras necesidades y exigencias (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

Pues bien, continuando con el análisis, si los muestreos para el análisis clásico del crecimiento fueran ejecutados en los tiempos t_1 y t_2 , entonces, RGR sería representada por la recta entre los puntos R_1 y R_2 .

En el punto medio de estos dos muestreos, denotado en la curva por una flecha, la discrepancia entre RGR y la TIGR es máxima. Es evidente que esta discrepancia disminuirá conforme los puntos t_1 y t_2 se acerquen, es decir, conforme los muestreos sean ejecutados con mayor frecuencia.

La discrepancia entre los dos valores también tiende a desaparecer cuando la planta crece exponencialmente. En este caso, tanto la TIGR como RGR son líneas rectas. Podemos constatar que la TIGR es igual a la tangente a la curva ó primera derivada del logaritmo natural del peso seco contra el tiempo (ecuación 2).

Gráfico 1. Representación gráfica de la tasa media de crecimiento relativo a partir del logaritmo natural del peso seco en función del tiempo.



Fuente: Werner & Leihner, 2006.

Las flechas indican la mayor discrepancia entre TICR y RGR.

La síntesis de la experiencia acumulada indica que conforme los factores se apartan de un abastecimiento óptimo, RGR disminuye.

En general, RGR a lo largo del ciclo de crecimiento de un cultivo que crece en condiciones óptimas, mostrará la llamada deriva ontogenética, es decir, la producción de materia seca conforme a un plan de desarrollo dirigido por la transcripción del genoma vegetal. Cualquier factor externo que provoque estrés a la planta apartará a RGR de su deriva ontogenética; esto debe tenerse en cuenta si se quieren distinguir los efectos del ambiente sobre el crecimiento vegetal (Delucia *et al.*, 1998).

Desafortunadamente, no es sencillo discernir los efectos externos de los internos sobre RGR.

Los cambios estacionales en la tasa de crecimiento relativo pueden usarse en comparaciones de eficiencia de producción entre diferentes genotipos de plantas, o entre plantas a las que se dieron diferentes tratamientos. Sin embargo, a menos que los experimentos sean efectuados con plantas jóvenes, tales comparaciones

probablemente son oscurecidas por la disminución de RGR con la edad, (Thorne, 1961). De hecho, RGR tiende a cero al final de la vida de un cultivo, pues las plantas detienen su crecimiento y los tejidos mueren.

Para Hunt (1982), el crecimiento de las plantas puede ser diseccionado dentro de componentes de crecimiento; NAR, LWR y SLA:

$$\text{RGR} = [\text{dW} \cdot \text{dt}^{-1} \cdot \text{LA}^{-1}] (\text{NAR}) \cdot \text{LW} \cdot \text{W}^{-1} (\text{LWR}) \cdot \text{LA} \cdot \text{LW}^{-1} (\text{SLA})$$

Donde:

- W es el peso total de la planta.
- t es el tiempo.
- LA es el área foliar.
- LW es el peso foliar.
- LWR representa la porción de tejido productivo del tejido total.
- SLA designa el área foliar por unidad de peso foliar, una medida de la eficiencia de la biomasa foliar en relación a su área.
- NAR se refiere a períodos de crecimiento, y se expresa no como valor total, sino como porción de los tejidos productivos.

Las tasas de crecimiento relativo TCR y RGR, suponen que el peso acumulado por la planta en un determinado momento ejerce una influencia sobre su peso venidero. La experiencia muestra, sin embargo, que conforme una planta crece, una mayor proporción del peso total es invertida en estructuras poco productivas, por ejemplo, el hecho de que el peso de los tallos aumenta con respecto al peso de las hojas. Por lo tanto, podría ser conveniente referir las tasas de crecimiento relativo exclusivamente a los tejidos productivos.

Esta preocupación y el propósito de evitar, hasta cierto grado, una deriva ontogénica grande inherente en el concepto de RGR, originó un nuevo indicador del crecimiento, originalmente llamado tasa foliar unitaria. Posteriormente, este índice adoptó la designación de tasa de asimilación neta ó net assimilation rate (NAR). Su valor instantáneo corresponde a:

$$\text{NAR} = \text{LA}^{-1} \cdot \text{dP} \cdot \text{dt}^{-1}$$

Donde, LA es el área foliar total presente en la planta al momento de la evaluación del crecimiento. Como indica la ecuación, NAR expresa el crecimiento de la planta en biomasa (P) por unidad de área foliar y de tiempo.

NAR también puede ser calculada como un valor promedio referido al período comprendido entre dos muestreos consecutivos, mediante la siguiente ecuación:

$$NAR = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln LA_2 - \ln LA_1}{LA_2 - LA_1}$$

En esta ecuación, LA puede ser el valor de cualquier medición del tamaño del aparato asimilatorio, es decir, área de la hoja, área de la hoja y tallo, peso de la hoja, nitrógeno o proteína foliar, etc. Sin embargo el área foliar es el atributo usado comúnmente.

Las ventajas y desventajas de varias mediciones del tamaño del aparato asimilatorio son discutidas por Thorne (1968), y Nečas (1965), entre otros; Thorne demostró que el desarrollo ontogenético, esto es, la disminución de los valores NAR y RGR, tienen componentes tanto fotosintéticos como respiratorios.

Se han realizado intentos para dividir NAR en los dos componentes por medio de experimentos analíticos de crecimiento (Watson & Hayashi 1965); en la literatura, tal discusión ha producido diferentes maneras para calcular este parámetro, debido a que no hay una solución simple y única a la ecuación anterior (Evans & Huges, 1962).

La tasa de asimilación neta provee una estimación integrada de la actividad fotosintética neta y respiratoria de la planta completa. Por lo tanto es una medición simple de la respuesta integrada de un gran número de procesos que difieren en la respuesta individual al medioambiente cambiante.

El área foliar y la biomasa pueden estar directamente relacionadas o puede no ser así. Por ejemplo, P puede estar relacionado con el cuadrado de LA o alguna otra potencia (Evans & Huges 1962). La relación general entre P y LA toma la forma:

$$P = a + bLA^\alpha$$

Donde *a* y *b* son constantes. Si *a* es despreciable, α es el cociente entre la tasa relativa de crecimiento de la biomasa y el área foliar.

Si conocemos NAR de un cultivo, para calcular su tasa de crecimiento relativo, únicamente requerimos un estimador de la proporción del peso seco dedicado a la producción de hojas, un parámetro llamado área foliar específica ó specific leaf area (SLA) y definido como:

$$SLA = LA \cdot DW^{-1}$$

Donde DW representa el peso seco total de la planta.

En un sentido amplio, SLA indica la proporción de asimilados fotosintéticos que son asignados a la producción de follaje.

Para Krug, la velocidad de crecimiento del cultivo ó crop growth rate (CGR) es el producto de LAI y NAR.

En condiciones de campo, CGR suele ser paralelo a LAI (leaf area index ó índice de área foliar), parámetro que representa el área foliar por unidad de área de suelo en $m^2 \cdot m^{-2}$ (Lallana, 2004); por lo tanto, la luz absorbida en superficie, es un factor muy importante en la eficiencia del crecimiento, el cual puede ser controlado más fácilmente que NAR por técnicas agrícolas como irrigación, fertilización, espaciamento...

Estos parámetros dependen del genotipo, del ambiente y la arquitectura del cultivo, que determina el tamaño, la forma y ángulo foliar. En muchas áreas de cultivo, el conocimiento de los cambios del LAI es la clave para entender los cambios en otras características de crecimiento, especialmente NAR (Watson & Witts, 1959).

Se asume que el área foliar es un componente vegetal mejor relacionado con la productividad que el peso total. Las hojas son, por antonomasia, la fuente de asimilados en una planta superior.

NAR depende estrechamente de la entrada de radiación más que de otro factor ambiental; los experimentos de sombreado e investigaciones de los cambios estacionales de NAR han conformado la existencia de correlaciones positivas entre este índice y la radiación (Wilson, 1981; Hodgson, 1967).

NAR disminuye como un resultado del estrés hídrico (Václavík, 1968), y existen algunas evidencias sobre los efectos positivos del suministro de nutrientes minerales, especialmente de potasio.

Debido a un incremento del sombreado de las hojas, NAR está correlacionado negativamente con LAI y consecuentemente con todos los factores que producen un incremento en LAI como el suministro de nitrógeno, densidad, sombreado y altos niveles de suministro de agua; por lo tanto, NAR disminuye durante el crecimiento y desarrollo de una planta.

Incrementos de radiación promueven NAR, e incrementando la temperatura, se favorece el SLA y no tiene un efecto significativo sobre NAR a bajos niveles de radiación. Las altas temperaturas es el factor más importante para la expansión foliar en plántulas (Lorenz & Wiebe 1980).

Para cuantificar las influencias ambientales sobre el desarrollo, se suelen considerar criterios como la velocidad de diferenciación ó differentiation rate (DiR) en fases con procesos de diferenciación dominantes, tales como la diferenciación de hojas, flores, y otros órganos (Krug, 1997):

$$\text{DiR} = n \cdot t$$

Donde n es el número de órganos diferenciados y t es la unidad de tiempo).

Así mismo, variedades con una alta velocidad de diferenciación y baja velocidad de crecimiento, se muestran sensibles a la temperatura cuando se siembran a finales de primavera en climas templados, y aún más en climas cálidos (van Dobben, 1963).

Podemos concluir que la tasa de crecimiento relativo provee una información valiosa sobre cómo crece una planta. Esta información integra a todas las partes de la planta y no siempre sugiere las causas del buen o mal desarrollo de un cultivo bajo unas condiciones determinadas. Esta limitación puede superarse calculando RGR para cada una de las partes que componen la biomasa de la planta, es decir, para los tallos, hojas, frutos o tubérculos y raíces. En este caso, es posible describir la evolución del crecimiento particular de un tejido con respecto a otro.

La subdivisión de la biomasa vegetal de una planta, en sus diferentes componentes, debe establecerse según convenga a los propósitos particulares de cada estudio. En estos casos, la forma de cálculo de RGR es esencialmente la misma, pero en lugar de utilizarse el peso seco de la biomasa como variable de interés, se emplearía el peso seco del órgano con valor económico.

2.6.4. Parámetros de calidad

Introducir el concepto de calidad, medida de una forma objetiva, en el sector de producción de plantas conferirá a éste una mayor transparencia, permitirá conocer mejor qué empresas producen mejor planta desde el punto de vista del mejor servicio al agricultor, y éste podrá elegir la planta que más le conviene por el precio que esté dispuesto a pagar.

Elegir la planta es una decisión muy importante, el agricultor está condicionando por muchos aspectos del cultivo y del resultado de su trabajo, y por ello sabiendo muy bien qué producto quiere, debe conocer muy bien qué producto le ofrecen (Welles, 1989).

También los poderes públicos están preocupados por garantizar la calidad de la planta hortícola, aunque hasta ahora se ha dado primacía casi absolutamente a uno de los aspectos de esta calidad, el *sanitario*.

Ciertamente, en el artículo 4 de la Orden de 28 de Octubre de 1994 que es la que aprueba el Reglamento Técnico de Control de la Producción y Comercialización de Plantones de Hortalizas y Material de Multiplicación de Hortalizas distinto de las Semillas, se hace referencia en el punto 4 a que *“el vigor y tamaño del material serán satisfactorios en relación con su valor de utilización como material de multiplicación o de plantación; además, cuando corresponda, deberá existir un equilibrio adecuado entre raíces, tallos y hojas”*; es una referencia muy vaga a aspectos diferentes de los sanitarios, que son los que ocupan todo el reglamento y los anexos.

Esta referencia tan genérica sirve de poco realmente, aunque nos da alguna clave de por dónde debe ir una planta de calidad, esto es, muy ligada su utilización, y probablemente el equilibrio entre sus partes, bien diferenciadas; raíz, tallo y hojas, es también otro elemento de apoyo para conocer sobre qué materias hay que trabajar (Hoyos, 1995).

Si hay que definir la calidad de una planta por su utilidad, por la respuesta que le dará al agricultor, está claro que habrá que decidir qué atributos de la planta son los más favorables para conseguir una mayor producción de la mejor cridad posible y en el momento más adecuado para obtener los mejores precios y por tanto un mayor beneficio si se mantuviesen los costes. La definición la hacemos asignando

valores a los órganos que la constituyen, y habría finalmente que relacionar los parámetros medibles en la planta obtenida en el semillero, con su respuesta en el campo, en cultivo (Hoyos, 1995).

Hay aspectos de la calidad que escapan a lo meramente parametrizable sobre la planta, pero que deben tenerse en cuenta:

- *sanidad*, al que ya hemos hecho referencia.
- *homogeneidad de la partida*:
diferencias de tamaño y edad entre las plantas pueden abocar a diferencias en el momento de producir tanto en precocidad, cantidad y calidad (Welles, 1989; Hoyos, 1995).

Este último aspecto también está recogido, aunque no de forma totalmente explícita en el reglamento ya citado.

Algunos criterios de calidad de plántula que pueden considerarse son el área foliar, porque determina el potencial de la actividad fotosintética (Klapwijk, 1986) y la producción de biomasa, como un indicador del crecimiento vegetal (Urrestarazu *et al.*, 1999).

No obstante puede resultar complicado decidir cuál de ellos representa el valor más significativo para la evaluación de la calidad de plántula. Aún así, si se intenta dar una valoración general de que parámetros son los más relevantes, parece inevitable pensar que una plántula que tenga mayor altura, número de hojas y área foliar, puede ser la más deseable para el trasplante. En este sentido, la manera de evaluar que una planta va a resistir mejor o peor el estrés, está relacionada con el contenido de materia seca. Parece ser este el mejor parámetro para evaluar la sensibilidad de la plántula y suele ocurrir que cuanto mayor es el contenido en materia seca, más resistente es la planta al estrés (Herrera *et al.*, 2009).

Sallaku *et al.* (2009), consideran que la distribución de productos fotosintéticos en hojas, tallos y raíces son los principales parámetros de calidad en plántulas de hortalizas, de tal manera que a mayor altura de planta y mayor acumulación de materia seca, dada por el peso seco de la raíz y la parte aérea, se tendrá una mejor calidad de plántula (Herrera *et al.*, 2009; Rosca, 2009).

El área foliar y el número de hojas son parámetros que deben tomarse en cuenta cuando se evalúa la calidad de las plántulas (Markovic *et al.*, 1996).

Desde el punto de vista del sistema de cultivo en el que nos encontramos y para el que se orienta la producción de plántulas de semillero, el mayor peso seco en las plántulas sigue siendo una cualidad deseable; así que la acumulación de materia seca y la superficie de asimilación de una comunidad de plantas son los métodos básicos utilizados para determinar el crecimiento y la producción de las plantas en un medioambiente natural. Uno de los requerimientos es disponer de datos exactos sobre pesos secos y área foliar de los órganos de asimilación como son las hojas y los pesos secos de las diferentes partes de la planta.

Paralelamente a los índices de crecimiento siempre es importante evaluar la influencia de los nutrientes sobre aspectos cuali-cuantitativos de la producción; de singular utilidad resulta la evaluación de la concentración y absorción durante el ciclo de cultivo.

Se trata de una medición cualitativa, por lo que es necesario definir unos criterios o parámetros para clasificar las plantas en comerciales o no. Se considera que una planta tendrá tanta más calidad cuanto más se adapte al uso previsto para ella, y los parámetros de calidad se definirán en función de ese uso (Pina Lorca, 2008).

Hay parámetros más fáciles de medir que otros y que, por tanto, pueden ser más baratos de realizar y tener una mayor aplicación, pero lógicamente habrá que evaluar su validez, que podría estar ligada a su capacidad de respuesta en campo. También habrá que estudiar, en los parámetros, el tiempo necesario para medirlos, si son medidas inmediatas, o si, como ocurre con muchas determinaciones encaminadas a conocer el estado fitosanitario, se requiere tiempo y por tanto, al seguir creciendo la planta y tener que transferirse al campo, cuando se tiene el resultado puede ser tarde (Hoyos, 1995).

En cualquier método, por sencillo que sea, se debe trabajar con la mayor precisión posible al tratarse de plantas de pequeño tamaño, o donde una apreciación grosera, sin mucho rigor puede llevar a no detectar diferencias o a adjudicar valores a determinada planta que no se correspondan con la realidad.

Una característica que hay que pedir también, a los métodos de evaluación cualitativa de una planta es su aplicación práctica, las posibilidades de puesta en

práctica por un semillero, pues pueden existir parámetros que den una buena correlación con la respuesta en campo, pero que sean complicados, caros o consuman mucho tiempo en su medición o requieran material muy sofisticado o personal muy cualificado y por tanto sea difícil su adopción por las empresas. A este respecto, habría que señalar que estos métodos, sí podrían ser de interés y se deben emplear en trabajos de investigación o en aquellos que tienen como fin, evaluar la influencia que tienen los factores de cultivo en semillero sobre la calidad final de la planta.

Lo importante es que estos parámetros puedan ser correlacionados con otros de más fácil medida, y así, una vez comprobada la bondad de determinado cambio en determinadas técnicas, y ser este cambio adoptado para la producción de plantas, evaluarla o ratificarla, ponerla de manifiesto con un parámetro fácil y sencillo de medir (Hoyos, 1995).

Si previamente se conoce la relación entre determinado atributo de la planta al trasplantar y su respuesta en campo, no es preciso realizar todo el cultivo para conocer cómo influye tal o cual modificación de una técnica ya empleada o la incorporación de una nueva y por tanto se podrán realizar más ensayos, al requerir menos tiempo y ser más baratos y se podrán probar mayor número de niveles de los factores en estudio, o técnicas que se piense podrían influir en la producción de planta de una forma positiva (Hoyos, 1995).

La primera pregunta que se hace un agricultor al evaluar la calidad de una plántula es si ésta superará el trasplante, y a que coste, a nivel económico y de tiempo.

Según Klapwijk (1986), el criterio más importante para hallar la calidad del trasplante es el área foliar, ya que determina la actividad potencial fotosintética de la plántula.

Son muchas las acciones que se pueden hacer para conseguir que una planta supere bien el trasplante y arraigue, se desarrolle en su nuevo medio. También el medio en que plantamos tiene importancia en la superación del estrés tras el trasplante, no es lo mismo plantar en un invernadero con todos los parámetros climáticos controlados y de niveles parecidos a los que la planta ha tenido en los invernaderos de semillero, que en el otro extremo, plantar en seco, donde muy probablemente, el único aporte de agua que se realice será para ayudar en ese momento a que la planta enraíce (Hoyos, 1995).

La manera de evaluar si una planta va a resistir mejor o peor el estrés está relacionada con el contenido en materia seca ó peso seco (Ps). Parece ser este el mejor parámetro para evaluar la sensibilidad de la planta y suele ocurrir que cuanto mayor es el contenido en materia seca, más resistente es la planta al estrés (Hoyos, 1995).

Tesi (1987), afirma que el porcentaje de peso seco (% Ps), influye de forma muy importante en el enraizamiento del tomate a bajas temperaturas; quedando muy claro que un aumento del 1% en Ps puede suponer, en esas condiciones, un incremento del 30 % de plantas arraigadas. Un alto nivel de Ps también puede conferir a la planta un mejor comportamiento si se hace trasplante mecanizado.

Para saber el % Ps tenemos que conocer el peso fresco y el peso seco de la planta. Es un parámetro derivado y muy empleado en trabajos de producción vegetal, pero también aquellos de los que deriva tienen interés, sobre todo el peso fresco, ya que goza de la ventaja de ser el parámetro más fácil de determinar y puede correlacionarse con algunos parámetros productivos, como puede ser precocidad y producción total en la mayor parte de las hortalizas de fruto (Welles, 1989).

En muchos casos puede ser de utilidad conocer como se reparte el peso de la planta entre las partes que lo constituyen: raíz, tallo y hojas; en algunos casos se separa únicamente entre parte aérea y sistema radical. En otros casos sin embargo se afina bastante y puede ser preciso separar incluso los limbos de los peciolo al calcular el peso de las hojas.

Masson *et al.* (1991), descubrieron que para evaluar la resistencia de las plantas al estrés del trasplante el índice que mejor se ajustaba era SLA, que relaciona el área foliar con el peso seco de los limbos, encontrándose en tomate, que plantas con bajo SLA resistían mejor el "shock" del trasplante. Este índice evaluaba mejor esta capacidad de la planta, que el obtenido de dividir el área foliar entre el peso seco total de la parte aérea, tasa de área foliar ó leaf area ratio (LAR). Normalmente las plantas de más edad suelen tener mayor SLA, pero esto no es así indefinidamente (Leskovar *et al.*, 1991).

Dufault (1986), estudiando diferentes fórmulas de abonado en semillero de melón, discute los resultados de esas aplicaciones sobre parámetros medidos en el momento del trasplante, tales como:

- n° de hojas.
- peso seco de la parte aérea y raíces.
- altura y diámetro del tallo, área foliar.
- relación entre el peso seco de la parte aérea y de raíz.

Como parámetros productivos obtiene la producción precoz y total así como los calibres.

Otros trabajos que también permiten obtener buenas relaciones son los debidos a Leskovar *et al.* (1991), donde estudia las relaciones: peso de la parte aérea y peso de las raíces, altura y diámetros del tallo, área foliar y peso seco de la parte aérea y radicular. En trabajos de Pimpini y Gianquinto (1991), encontramos que la producción expresada en gramos por planta, aumenta de forma lineal con el diámetro del tallo y con la longitud de éste, y de forma logarítmica con el contenido en Ps de la parte aérea y con el área foliar. Estas dos últimas relaciones son de gran interés y nos previenen, en el mismo sentido de lo visto al consultar los datos de Leskovar *et al.* (1991), que llegado un momento, no por mucho aumentar el área foliar conseguimos aumentos apreciables de producción y, por tanto, puede no ser interesante forzar más el parámetro, pues podría dejar de ser rentable.

Gianquinto y Arcella (1989), observaron que en pepino parece que el parámetro más adecuado para relacionarlo con la producción total es el diámetro del tallo. Obtuvieron una relación cuadrática entre el diámetro del tallo y la producción total por planta:

$$y = -0.119 \cdot x^2 + 1.321 \cdot x - 0.896 \quad R^2 = 0.953$$

Donde “y” es la producción total en Kg por planta y “x” es el diámetro del tallo en mm. Si representásemos gráficamente esta función, se apreciaría como llega un momento en que la curva se va haciendo horizontal, llegando a la situación ya señalada en otras especies, en que puede no interesar aumentar el diámetro al trasplante, pues económicamente no se vería compensado por el aumento de producción.

Gianquinto y Arcella (1989), trabajando con Apio, relacionan altura de la planta, número de hojas y área foliar con el número de hojas, el peso de la parte aérea y el contenido en materia seca de dicha parte aérea. Todo ello considerando las plantas cosechables en dos fechas diferentes. Se ve en todos los casos, cómo contar con valores altos de estos parámetros, influye positivamente sobre la producción, aunque como en casos anteriores las relaciones no son lineales.

Pimpini y Gianquinto (1991), indican que la producción de un cultivo de tomate se ve incrementada en escala logarítmica con el incremento en el contenido de materia seca de la parte aérea de la plántula a trasplantar. Esto sugiere que las plantas con mayor área foliar tendrán un desarrollo mejor después del trasplante, que redundará en valores de producción (Herrera *et al.*, 2009).

Cualquier estrés, en la zona radical se expresa en la parte aérea, afecta la partición de materia seca entre raíces y vástagos y, por lo tanto, afecta a la productividad de la planta. El equilibrio funcional entre raíces y vástagos corresponde a un crecimiento interrelacionado, en el cual los cambios en la tasa del crecimiento aéreo se expresan en la raíz y viceversa.

Por otra parte, un sistema radical corto y poco proliferado explora un menor volumen de suelo para la obtención de agua y nutrientes. Una menor longitud de raíces por unidad de volumen de suelo y/o una menor densidad radical requiere que las tasas de absorción de agua y nutrientes se mantengan más elevadas de lo normal para poder satisfacer las demandas de las plántulas en crecimiento (Bennie, 1991).

Los factores que pueden influenciar la calidad de las plántulas y su recuperación después del trasplante y que también intervienen durante la producción de plántulas, son: fertilización, riego, control de plagas y enfermedades; todos ellos tienen un efecto en el rendimiento final del cultivo (Guzmán y Sánchez, 2003).

Entre estos factores destaca el nutricional como uno de los más importantes, ya que modifica tanto las características morfológicas y fisiológicas de las plántulas, como la cantidad de carbohidratos acumulados, que según Dufault (1998), pueden afectar la tasa de crecimiento posterior al trasplante.

En este sentido, Sallaku *et al.* (2009), consideran que la distribución de productos fotosintéticos en hojas, tallos y raíces son los principales parámetros de calidad en plántulas de hortalizas, de tal manera que a mayor altura de planta y

mayor acumulación de materia seca, dada por el peso seco de la raíz y la parte aérea, se tendrá una mejor calidad de plántula (Herrera *et al.*, 2009; Rosca, 2009).

2.6.5. Eficiencia nutricional y productividad en hortícolas.

La productividad de una especie vegetal depende de la eficiencia de ese cultivo para convertir los recursos del ambiente como CO₂ y luz, en materia seca y de particionar los fotoasimilados a los órganos de interés económico. El resultado de este proceso, en cultivos bien fertilizados y no sometidos a déficit hídrico, es que el rendimiento está relacionado linealmente con la radiación interceptada durante el período de crecimiento (Gregory *et al.*, 1992).

- El principal factor que controla la concentración mineral en las plantas es de tipo genético, es decir, el potencial absorción de los diferentes nutrientes está prefijado. Este hecho se comprueba porque la proporción de N y K en los tejidos verdes de las plantas es cerca de diez veces mayor que la de P y Mg, los cuales son a su vez cien a mil veces mayores que las concentraciones de micronutrientes. Este patrón general ocurre en todas las especies de plantas superiores. Dentro de las diferentes especies, sin embargo, ocurren considerables diferencias en cuanto a su contenido mineral, lo cual también está determinado genéticamente.

Para un genotipo dado, la eficiencia nutritiva se refleja por la capacidad de producir altos rendimientos en medios en los que son limitantes uno o varios nutrientes minerales para un genotipo estándar (Graham, 1984). Esta definición puede ser aplicada para comparaciones entre genotipos (cultivares o líneas), dentro de una especie, o entre varias especies.

Las diferencias genotípicas en la eficiencia nutricional se relacionan con las diferencias de la eficiencia en la adquisición por las raíces, o en la utilización por la planta, o ambas.

Gutschick (1993), afirmaba como una regla en la eficiencia nutritiva, que la adquisición de los nutrientes por las raíces jugaba el papel más importante. Los genotipos dentro de una especie pueden diferir ampliamente en la afinidad del sistema de asimilación y en el umbral de concentración.

La eficiencia en la adquisición está frecuentemente definida en términos del aumento total asimilado por la planta o la velocidad de asimilación específica por unidad de longitud de raíz, mientras que la eficiencia en la utilización, como producción de materia seca por unidad de nutriente en la materia seca.

De cualquier manera, desde el punto de vista agronómico y en un sentido operacional, las diferencias genotípicas en la eficiencia nutritiva por las plantas cultivadas están usualmente definidas por diferencias en el crecimiento relativo o en el rendimiento cuando crecen en condiciones deficientes (Marschner, 1995). La eficiencia en la adquisición y la utilización interna también depende del nivel de nutrientes aportados (Godwin & Blair, 1991), y de la edad de la planta (Brouder & Cassman, 1990).

Estas diferencias genotípicas en la eficiencia nutritiva se producen por un gran número de razones, que se pueden relacionar con la asimilación, transporte y utilización del elemento dado (Ozanne *et al.*, 1969). Hay diferencias típicas en los requerimientos de nitrógeno a nivel celular, por ejemplo entre especies C3 y C4, o en requerimientos de calcio y boro entre monocotiledóneas y dicotiledóneas. Dentro de una especie, la eficiencia nutritiva, por ejemplo para el calcio, puede diferir entre cultivares dependiendo del estado de fijación de calcio, tasa de transporte a los meristemas apicales (Behling *et al.*, 1989), o diferencias en los requerimientos dentro de los tejidos (Horst *et al.*, 1992).

Para evaluar diferencias genotípicas en la eficiencia nutritiva, las curvas de aporte-respuesta para incrementar el aporte de nutrientes necesitan ser obtenidas y tomadas de tratamientos secuenciales (Marschner, 1995).

- El *segundo factor* que controla el contenido de minerales en la planta es la disponibilidad de los elementos en el suelo o medio de cultivo. Las concentraciones de nutrientes en hoja, y en etapas específicas del crecimiento, se usan como índice del nivel nutricional en planta. El análisis se basa en la opinión de que la hoja es el lugar principal de la actividad metabólica, que los cambios en el suministro de iones se reflejan en la composición de nutrientes de la hoja, que estos cambios son más pronunciados en algunas etapas del crecimiento que en otras y que esas

concentraciones están relacionadas con el desarrollo y el rendimiento de la cosecha.

La fertilización promueve el crecimiento foliar y aumenta el tiempo que permanecen verdes las hojas y, en consecuencia, incrementa la radiación total captada, la materia seca producida y también el «índice de cosecha».

Actualmente, el uso eficiente de nutrientes ha ganado más atención debido al incremento en los costos de fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, particularmente por la calidad del agua, asociada con el uso inapropiado de nutrientes. El incremento de las regulaciones gubernamentales y de programas de incentivos a todos los niveles también aumenta el interés en el tema.

Es de consenso general, que mejorar la eficiencia de los fertilizantes es una labor valiosa que potencialmente puede entregar abundantes beneficios. Sin embargo, es necesario definir precisamente que significa uso eficiente de nutrientes y si la eficiencia difiere entre nutrientes. Además, es también importante precisar cómo y cuánto se puede mejorar la eficiencia.

Los conceptos de uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes generalmente describen como de bien las plantas o un sistema de producción usan los nutrientes. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción (Stewart, 2007).

Para Krug (1997), los criterios de la eficiencia de crecimiento podían ser parámetros de funciones de crecimiento de las tasas de crecimiento:

1. Tasa media de crecimiento ó medium growth rate (MGR):

Muestra el cálculo de la velocidad de crecimiento sobre períodos de datos de sucesivas medidas (gráfico 2, en la página siguiente). Debido a la variación de cada punto medido, es más aconsejable usar datos calculados de la respectiva curva de crecimiento. El rango puede variar desde días hasta la totalidad del período de crecimiento. La interpolación y la interpretación de los valores deben realizarse con cuidado, y sólo en el rango en que son lineales.

$$\text{MGR} = (W_2 - W_1) \cdot (t_2 - t_1)^{-1}$$

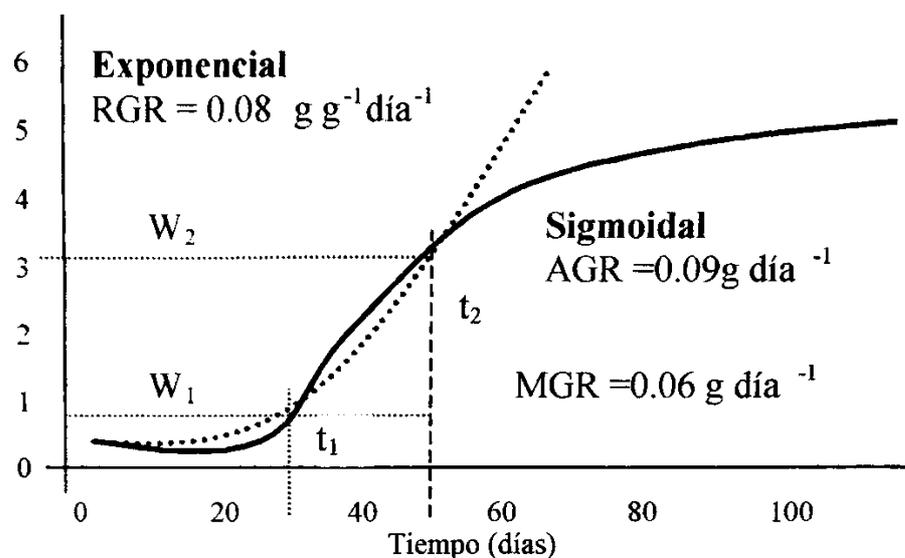
2. Tasa de crecimiento absoluto ó absolute growth rate (AGR):
Describe la pendiente cuando $\Delta t \rightarrow 0$ para el tiempo respectivo.

$$AGR = dW \cdot t^{-1}$$

3. La velocidad de crecimiento del cultivo ó crop growth rate (CGR) expresa AGR ó MGR sobre una base de área de suelo.
4. La velocidad de crecimiento relativo ó relative growth rate :

$$RGR = \ln(W_2 - \ln W_1) \cdot (t_2 - t_1)^{-1}$$

Gráfico 2. Representación del crecimiento exponencial, crecimiento sigmoideo y parámetros de eficiencia.



Fuente: Guzmán, 2011.

2.6.6. Influencia del nitrógeno.

El nitrógeno es un macronutriente esencial para los vegetales. Es el elemento promotor del crecimiento de las plantas por excelencia, por lo que la demanda de los cultivos es muy importante. La fertilización nitrogenada provoca un aumento en su concentración dentro de la planta y por ende contribuye a incrementar la producción vegetal.

El nitrógeno ocupa habitualmente el cuarto lugar en cuanto a contenido en la planta, detrás del carbono, oxígeno e hidrógeno. Juega un papel esencial como constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y hormonas del crecimiento. La mayor parte de las plantas dependen, absolutamente, para su crecimiento del nitrógeno inorgánico absorbido del suelo en forma de iones nitratos o amonio (Wild *et al.* 1992), en una relación aproximada de 4:1 respectivamente, variando la misma según la especie y momento fenológico del ciclo del cultivo (Martí, 2011).

Ya anteriormente se había demostrado que las formas experimentales de nutrición con nitrato y con amonio repercuten en el crecimiento y en la composición química de la planta, (Kirkby, 1968; Maynard & Baker, 1969).

Hull y Monney (1990), en un ensayo con cuatro pastos anuales también encontraron correlaciones positivas significativas entre tasa de asimilación neta y concentración de nitrógeno en hojas. La validez general de la relación es debida a la alta proporción de nitrógeno en la hoja, localizado en los cloroplastos y a su función en la fotosíntesis (Schulze & Chapin, 1987).

La disponibilidad del nitrato frente a los compuestos amónicos es importante en las plantas para inducir el crecimiento vegetativo y reproductivo. El amonio, una vez absorbido, puede servir inmediatamente para la síntesis de aminoácidos y otros compuestos que contengan nitrógeno en reducción; la absorción de amonio puede causar un crecimiento vegetativo excesivo, particularmente bajo condiciones de luminosidad muy pobres.

Los nitratos deben ser reducidos antes de ser asimilados, disminuyendo de esta forma el crecimiento vegetativo (Narváez *et al.*, 2012). Las sales de amonio podrían ser utilizadas bajo condiciones de sol intenso en verano, cuando la fotosíntesis es alta, o bien si sucede una deficiencia de nitrógeno y hace falta una rápida fuente de éste (Resh, 1992).

La deficiencia de nitrógeno en las plantas inhibe considerablemente su tasa de asimilación neta (Terashima & Evans, 1988; Buttery & Buzzel, 1988). En plantas de cebada deficientes en nitrógeno, Hák y Nátr (1987), midieron un decrecimiento de la tasa de asimilación neta, fotorrespiración y de la concentración de compensación de anhídrido carbónico. Contrariamente, la relación fotorrespiración - tasa de asimilación neta, y la proporción de oxigenación y carboxilación en plantas con déficit de nitrógeno, se incrementó significativamente.

2.6.7. Eficiencia en el uso de nitratos (NUE).

Entendiendo el crecimiento como la formación de nueva biomasa, a la cantidad de biomasa producida en la fotosíntesis por unidad de nutriente utilizado, se le da el nombre de eficiencia en el uso de los nutrientes (NUE), y ha recibido numerosas formulaciones e interpretaciones (Garnier & Aronson, 1998).

Moll *et al.* (1982), definen NUE como el rendimiento en la producción de materia seca por unidad de nitrógeno (N) disponible en el suelo, siendo el producto de dos factores fisiológicos: la cantidad de nitrógeno absorbido por el cultivo por unidad de nitrógeno disponible en el suelo y la eficiencia de utilización de nitrógeno, que relaciona producción de biomasa por unidad de nitrógeno absorbido.

Entre otros índices agronómicos de eficiencia de uso de N, Dobermann (2007), en un estudio sobre maíz, define *eficiencia interna de utilización* (EI), como la habilidad de la planta para transformar los nutrientes adquiridos del sustrato en el órgano de interés comercial, y calcula este índice mediante la relación entre la producción del cultivo y la cantidad de nutriente absorbido por la biomasa aérea, en la madurez fisiológica. Además afirma que un nivel alto de EI sugiere una deficiencia del nutriente en cuestión, así como un nivel bajo puede reflejar una pobre capacidad interna de conversión, debida a condiciones de estrés hídrico, nutricional, climático, toxicidad por pesticidas, etc.

El mismo autor define como *factor de productividad parcial* (PFP), al cociente entre la producción del cultivo y la cantidad de nutriente aplicado, y considera este índice como uno de los más importantes para el productor porque da una idea general de la eficiencia del cultivo.

Cuanto más eficientes sean las plántulas en el uso del nitrógeno, serán necesarios menos aportes de abono nitrogenado para acercarnos a la curva de concentración crítica de nitrógeno, la cual se define como la representación gráfica que relaciona la producción y acumulación de materia seca con la concentración de nitrógeno en la planta (Lemaire y Gastal, 2002).

Por debajo de esta curva, la plántula está viendo limitado su crecimiento a consecuencia de un déficit de nitrógeno, y por encima de ésta, el semillero no solo estaría derrochando recursos desde el punto de vista económico y aumentando el riesgo de contaminación medioambiental, sino que estaría poniendo en juego la

calidad del plantel, pues sabemos que el trasplante en sí mismo implica un fuerte estrés para la plántula y según León (1988), el exceso de nitrógeno hace a la planta más susceptible a agresiones provocadas por patógenos y otras condiciones de estrés.

Para maximizar la eficiencia de uso de N es necesario conocer la dinámica del nutriente en el sistema suelo-planta-atmósfera y cómo el manejo de suelos y cultivos afecta la misma.

Entre las expresiones más comunes de la eficiencia de los fertilizantes está la eficiencia de recuperación (ER). Las definiciones de ER pueden variar dependiendo de la parte considerada en la recuperación, como toda la planta, biomasa sobre suelo, porción cosechada, etc., y de las fuentes de nutrientes tomadas en cuenta, tales como fertilizantes, residuos de corral, mineralización y deposición atmosférica. (Bruulsema *et al.*, 2004). Sin embargo, la ER de un nutriente específico como el N se define a menudo como el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento (Cassman *et al.*, 2002).

Se ha estimado que la tasa de utilización ó eficiencia de recuperación del cultivo, bajo condiciones favorables para N proveniente de fertilizantes es de 50-70 %, para P de 10-25 % (15 % de promedio) y para K de 50-60 % (Isherwood & Maene, 1990). El autor también menciona que la eficiencia de P y K con el tiempo (múltiples ciclos de crecimiento) debe tomarse en cuenta. En otras palabras, con nutrientes con significativo valor residual o potencial de almacenamiento en el suelo, como P y K, la ER a largo plazo será significativamente más alta que a corto plazo. Además, la interacción entre nutrientes pueden tener un impacto significativo en la medición de la eficiencia de nutrientes individuales (Aulakh & Malhi, 2004).

La naturaleza y conducta de un nutriente en el suelo es importante para determinar la eficiencia. El efecto de los nutrientes con potencial de acumulación en el suelo, como P y K, puede verse a corto plazo, sin embargo, se prestan más para que su eficiencia y recuperación sean evaluadas a largo plazo.

Por otro lado, la eficiencia de N generalmente se evalúa en el corto plazo, o en un solo ciclo de crecimiento, debido a la naturaleza transitoria del N inorgánico; por su potencial de volatilización, la desnitrificación y lixiviación. Sin embargo, cuando existe potencial para elevar las reservas de carbono (C) en el suelo, es más apropiado evaluar la eficiencia de N a largo plazo, debido a que lo que afecta el

balance de C también afecta el balance de N, ya que la relación C:N de la materia orgánica del suelo es relativamente constante.

Experimentos con hortalizas del género *Brassica* revelan una limitada reducción potencial del uso de fertilizantes N para diferentes técnicas de fertilización nitrogenada, (Everaarts *et al.*, 1995; Everaarts & De Moel, 1998). Teniendo en cuenta que la recuperación de N del suelo es generalmente alta en brasicáceas (Everaarts, 1993), el potencial para una mejora de NUE mediante el aumento de la absorción de N parece ser más bien limitado, pero puede haber posibilidades de mejorar la eficiencia de utilización haciendo una predicción más precisa de la demanda de N.

Para este propósito, se han desarrollado modelos de predicción para el crecimiento de la coliflor (Alt *et al.*, 2000), la absorción de N en coliflor según su disponibilidad en el suelo (Kage *et al.*, 2003) o la evolución temporal de la absorción de N en repollo blanco y coles de Bruselas (Feller & Fink, 1998).

Un enfoque más que no está aún muy investigado es la selección y obtención de genotipos eficientes, que se caracterizan por una susceptibilidad baja del rendimiento frente a la reducción de los niveles de N aportados en la fertilización, (Schenk, 2006).

2.6.8. Efecto contaminante de los nitratos.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta cuando evaluamos la incidencia de la producción de hortalizas en la contaminación medioambiental es el nitrógeno (N), pues su liberación a la atmósfera e hidrosfera es especialmente alta, (Greenwood *et al.*, 1991; Warsav, 2012). Esto es causa de los altos niveles de fertilización nitrogenada usada en la producción comercial, que menudo exceden las recomendaciones oficiales (Booij *et al.*, 1996); especialmente para las especies del género *Brassica*, (Scharpf & Weier 1995).

Los nitratos son altamente estables y no son en absoluto tóxicos en términos de contaminación ambiental, en cambio los nitritos, son muy reactivos y están dotados de numerosos efectos tóxicos. El problema reside en que los nitratos son transformados en nitritos por procesos enzimáticos o por la actividad de los

microorganismos. Esta reducción transcurre sin ningún control, pudiendo producirse espontáneamente en los alimentos y el tracto digestivo humano.

Uno de los efectos observados en estudios a largo plazo sobre la toxicidad de los nitritos en una variedad de especies animales, es la diferencia de la vitamina A; esto es causado por la reacción directa entre el nitrito y la vitamina A, sin embargo, el efecto más importante observado, fue un incremento del nivel de metahemoglobina y los cambios histopatológicos en pulmón y en el corazón en ratas que recibían nitrito en el agua.

La metahemoglobina es producida por la transformación de la hemoglobina por parte de los nitratos. La hemoglobina normalmente transporta el oxígeno a través de los vasos sanguíneos y capilares, pero cuando pasa a metahemoglobina pierde dicha capacidad (Mahler & Garner, 2009).

Los nitritos se ligan a otros compuestos formando los llamados N-nitrosados o nitrosaminas que son los que realmente presentan toxicidad. Las nitrosaminas son un tipo de compuestos sobre cuya acción cancerígena no existen dudas; en las experiencias de laboratorio se ha comprobado que alrededor del 75 % de ellas pueden originar cánceres hepáticos (necrosis hepática en animales y humanos) oclusión fibrosa de las venas y hemorragia pleural y peritoneal en animales.

La intoxicación crónica produce fibrosis hepática, proliferación de conductos biliares, hiperplasia hepática (Sedan *et al.*, 2010). También se ha podido comprobar que existe una correlación directa entre el consumo de alimentos o aguas con exceso de nitratos y los cánceres gástricos.

El Comité científico de la alimentación humana (CCAH) afirmó en su dictamen de 22 de septiembre de 1995, que la ingesta total de nitrato se encuentra normalmente muy por debajo de la ingesta diaria admisible ó acceptable daily intake (ADI) de $3,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso corporal. No obstante, recomendaba que prosiguieran los esfuerzos para reducir la exposición al nitrato a través de los alimentos y el agua. Después de varias revisiones realizadas por diversos organismos como Joint Expert Committee of the Food and Agriculture (JECFA) y European Commission's Scientific Committee on Food (SCF), este límite se mantiene en la actualidad.

La col china es clasificada una hortaliza de alto contenido en nitratos, pues según análisis realizados en 20 países de la comunidad europea y Suecia durante

los años 2000 y 2007, la concentración media es de $0,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de biomasa fresca, aunque se encontraron muestras con $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (EFSA, 2008).

La legislación vigente a nivel europeo, el Reglamento (UE) nº 1258/2011 de la comisión de 2 de diciembre de 2011, que modifica el Reglamento (CE) nº 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de nitratos en los productos alimenticios, no establece un límite específico para col china, sino que se centra en espinaca, lechuga, rúcula y alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles. En otros países como Suiza, se establece un valor de tolerancia de $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, y en Rusia, se establecen límites máximos para hortalizas de hoja de $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Durante los últimos años se han realizado esfuerzos para disminuir niveles de fertilización sin afectar el rendimiento. Autores como Dibb (2000), y Stewart (2012), discuten la importancia de considerar la eficiencia y la viabilidad económica total dentro del sistema de producción de alimentos. Ambos señalan que la eficiencia de uso de los nutrientes, la eficiencia de uso del suelo, el retorno económico y la protección ambiental son componentes que definen y determinan la sostenibilidad actual y la del futuro.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Características de la especie cultivada

3.1.1. Generalidades

La col china se ha cultivado durante más de seis mil años en China, pero se puede decir que el origen del vegetal se remonta a períodos muy antiguos. En las regiones de Asia, durante excavaciones en los asentamientos de Banpo, se encontraron algunas semillas de este vegetal ya existente desde el periodo neolítico.

En el siglo V, la col formaba parte de la dieta culinaria de los chinos, más específicamente de la dieta de los chinos del sur. Esto es así debido a que el crecimiento de este vegetal en tiempos antiguos se limitaba, en gran medida, a la región del Delta del Río Yangtze.

Se sabe que durante la Dinastía Ming, el farmacólogo Li Shizhen, autor del “Compendio de Materia Médica” e ilustre erudito de la milenaria medicina tradicional china, estudió esta especie por sus importantes y valiosas cualidades medicinales. Dentro de estas, podemos decir que es saludable consumir repollo porque reduce el colesterol, previene la hipertensión, crea anticuerpos, ayuda a quemar grasas, disminuye al ácido úrico, es anti cancerígeno, regula el funcionamiento hormonal, incrementa el funcionamiento mental, previene y detiene la artritis y el reuma, y regula el funcionamiento del tiroides y la glándula pituitaria.

Aunque las coles son muy conocidas a nivel mundial y gozan de una larga historia, ya que se consumen hace miles de años, en Occidente no se descubrieron hasta el siglo XVIII. Desde mediados de la década de 1970 se está extendiendo en Europa su cultivo y consumo, razón por la cual, en las regiones mediterráneas españolas se ha implantado éste, principalmente para su exportación otoñal-invernal (Maroto, 2002). En Europa es consumida en Reino Unido, Países Bajos y Alemania.

3.1.2. Taxonomía y descripción botánica.

Bajo la aceptación de “coles chinas”, en algunos textos se engloban dos taxones distintos pertenecientes a la familia Brassicaceae o Cruciferae:

- El grupo llamado *Pekinensis* es uno de los más conocidos, especialmente fuera del continente asiático. Dentro de este grupo encontramos *Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis* (Lour), llamado comúnmente Olson o pe-tsai, o col china propiamente dicha, además del repollo chino blanco, el repollo Napa, el hakusay japonés, el baechu coreano, etc. Por lo general, dentro de esta clase de coles, entran las que tienen amplias hojas verdes con blancos pecíolos, envueltos herméticamente en forma de cilindro, al igual que una cabeza; se encuentran al norte de China, especialmente en regiones cercanas a Beijing.
- El otro grupo de coles, de un tamaño más pequeño, entra en el grupo llamado *Chinensis*. Dentro de este grupo son conocidas la acelga china, la mostaza china, la mostaza apio y el repollo, entre otras. Esta variedad no tiene forma cilíndrica, al contrario, es lisa y generalmente posee hojas de un color verde oscuro. Se suelen encontrar, más comúnmente, al sur de China, ya que son más resistentes a las bajas temperaturas.

La col china cultivada en nuestra zona, *Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*, se parece a una lechuga del tipo romana, con hojas verticales, alargadas, irregularmente dentadas, las interiores son de un color verde muy claro, casi blancas con unas nerviaciones muy marcadas y el limbo prologándose en forma de ala hasta la base del peciolo, que es ancho, lleno y de color blanquecino; en algunas ocasiones se observan variedades que forman cogollos bastante apretados; puede llegar a adquirir alturas de 50-60 cm (Maroto, 2002). Es una planta de ciclo corto, que completa en 2-3 meses desde el trasplante.

La mejora genética de esta hortaliza está dirigida principalmente a la obtención de híbridos mediante genes de androesterilidad, por tanto, las variedades cultivadas suelen ser híbridas y se clasifican comercialmente en función de su precocidad en los siguientes grupos:

- *Variedades tempranas.*
Suelen sembrarse en primavera o verano, como Elliot RZ F1, N° 9164 F1, Spring A-1, Mariko F1, etc.
Cubren un ciclo de menos de 70 días.
- *Variedades semitardías.*
Se siembran a principios del verano o a principios del otoño y se recolectan a partir de unos 80 días, tras la siembra. Variedades como Kasumi F1, Asten RZ F1 y Yoko F1 pertenecen a este grupo.
- *Variedades tardías.*
Son variedades sembradas a finales de septiembre que se recolectan en invierno, con gran resistencia al frío y a la floración precoz, como Snow Mountain.

Atendiendo a la forma del cogollo, los cultivares de col china se dividen en dos grandes grupos varietales: los que no forman cogollo compacto y tienen un aspecto alargado, y los que si forman un cogollo prieto. A las variedades del primer grupo se las conoce como tipo *Michihili* o *Pe-Tsai*, mientras que a las variedades acogolladas, con una forma más redondeada, a veces se las encuadra en el tipo *Barrel* (Maroto, 2002).

3.1.3. Necesidades edafo-climáticas.

Es un cultivo que necesita temperaturas suaves, siendo este un factor determinante, pues esta planta se ve afectada por las bajas temperaturas; por debajo de los 8°C se paraliza; la óptima de crecimiento es de 18-20°C; la de formación de cogollos es de 10-16°C, y a menos de 12°C puede producirse la subida prematura a flor. Los fotoperiodos largos también pueden inducir la floración.

Chauvet (1976), señala que un fotoperiodo largo sólo puede influir en la floración cuando se ha producido un vernalización incompleta. Para que se produzca una vernalización completa, las bajas temperaturas deben tener una cierta duración. Según Elers & Wiebe (1984), las temperaturas elevadas pueden tener un efecto antivernalizante, disminuyendo el crecimiento de los talamos florales, aunque sin inducir la formación de un número mucho mayor de hojas.

Las semillas pueden ser vernalizadas, aunque parece ser que para ello es necesario que hayan emitido la radícula para poder recibir la inducción vernalizante, aumentando esta sensibilidad con el mayor desarrollo de la planta (Elers & Wiebe, 1984).

Le favorecen los suelos de textura media y porosa. Es exigente con el pH del suelo; así en suelos muy ácidos o alcalinos se produce Tipburn, que es el otro gran problema de este cultivo. Produce como síntoma la desecación marginal de las hojas jóvenes y como consecuencia posteriores pudriciones, debido a una mala translocación de calcio inducida por ciertas condiciones climáticas: altas temperaturas, baja humedad relativa, condiciones que favorecen un crecimiento rápido, salinidad en suelo o agua de riego.

El tipburn también aparece si le falta calcio al final del acogollado, por lo que esta alteración se puede reducir en parte realizando tratamientos preventivos con productos ricos en calcio vía foliar.

Nakamura (1976) distingue la sintomatología entre dos tipos de Tipburn en col china; el primero es de aparición precoz y se manifiesta mediante el marchitamiento progresivo que finaliza con una desecación foliar que adquiere un color blanquecino o *marginal-rot*, mientras que el otro tipo de Tipburn, *heart-rot*, se manifiesta con el marchitamiento y la posterior podredumbre de hojas ubicadas en el interior del cogollo. El primer caso es de control más sencillo que el segundo.

3.1.4. Material vegetal.

Para este experimento se han cultivado cuatro de las variedades que más aceptación tienen en la provincia de Almería. Fueron las siguientes:

Nº 9164 © F1

Variedad híbrida precoz de cogollos cilíndricos con hojas de color verde medio a oscuro, de abullonado medio y borde liso. Buena resistencia y calidad interior. Resistente al espigado, (Marín, 2000).

Casa productora: Ramiro Arnedo.

Kasumi © F-1

Variedad híbrida precoz de buen comportamiento para su cultivo en cualquier época del año. Cogollos de tipo barril (cilíndrico) corto, muy compacta, hojas externas de color verde oscuro e internas ligeramente amarillas, y nervadura blanca clara. De alta producción. Peso medio de 1.5-2 kg y máximos de 2,5-3 kg. El ciclo de maduración es de 70-75 días contando desde la siembra. Adaptada al cultivo en invernadero. Muy resistente a la subida a flor, (Marín, 2013).

Casa productora: Ramiro Arnedo S.A.

Elliot © RZ F1

Variedad de cogollo cilíndrico, de 48-50 días de ciclo. Destaca su extraordinario cierre, resistencia a Tipburn y a la subida a flor. Peso medio entre 1-1,5 kg. Para siembras desde septiembre a octubre, (Marín, 2000).

Casa productora: Rijk Zwaan

Asten © RZ F1

Variedad híbrida de ciclo medio, de 80 días de maduración aproximadamente. Produce cogollos de 2 Kg de peso, de cogollo cilíndrico, limbo y peciolo verde oscuro, precoz y resistente a la subida de la flor. Se adapta bien a los cultivos en regiones cálidas, cosechándose durante el invierno y principios de primavera. Buen resultado en pleno campo en zonas de Valencia, Alicante y Murcia (Marín, 2010).

Casa productora: Rijk Zwaan.

3.2. Descripción de las instalaciones.

3.2.1. Situación y orientación.

Los ensayos se han realizado dentro del recinto de la Universidad de Almería, en un invernadero tipo parral, de raspa y amagado. El invernadero presenta una orientación de 325° siguiendo la longitudinal del mismo, en la dirección N-S.

3.2.2. Estructura y dimensiones.

La estructura del invernadero está hecha de postes de madera apoyados verticalmente en zapatas de cemento individuales y unidos unos a otros por medio de cables de tensión que corren a lo largo de la parte superior. En el perímetro se sitúan pilares inclinados hacia fuera que dan estabilidad al conjunto. Los cables de tensión también sirven como soportes de las dos redes de alambre entre las que se sitúa el plástico.

La separación de los pies del interior del invernadero es de 5 m en sentido transversal (dirección E-O) y entre 3,8 y 4,5 m en sentido longitudinal (dirección N-S). Los pies de las bandas están colocados unos de otros a 2 m. La altura del invernadero oscila entre los 2 m del amagado y 3 m de raspa. La anchura total del invernadero es de 25 m y la longitud de 30 m por el lateral más corto y 35 m por el más largo. La puerta de acceso al invernadero está orientada al Norte y es de 2 m de ancho.

3.2.3. Descripción del semillero.

Un semillero se define como una superficie reducida de terreno que hallándose resguardado de las inclemencias del tiempo permite la producción de plántulas obtenidas a partir de semillas, que una vez germinadas y la plántula emergida, son trasplantadas al terreno de asiento con las mejores garantías de desarrollo (Reche, 1994).

El semillero donde se ha llevado a cabo el experimento se encuentra ubicado en la zona Noroeste del invernadero parral anteriormente descrito.

Para permitir un mejor control climático dentro del semillero, se colocó una cortina de polietileno de baja densidad en todo el perímetro, aislándolo del resto del invernadero.

La estructura del semillero está compuesta por cuatro mesas construidas a base de perfiles en “L” de hierro con capacidad para 18 bandejas de recogida de drenajes cada una.

Sobre las bandejas de recogida de drenajes, se dispusieron las bandejas de poliestireno expandido de 70x46x5 cm, idénticas a las utilizadas por los semilleros comerciales para producir plántulas de col china. Con el fin de ocupar justo la superficie que deja la bandeja de recogida de drenajes se cortaron las bandejas de poliestireno en cuatro partes. Cada porción de bandeja constaba de 70 alvéolos, con un volumen cada uno de 16,9 cm³.

3.3. Características del agua de riego y solución nutritiva.

3.3.1. Agua de riego

A la hora de iniciar un cultivo es fundamental conocer la composición química del agua que vamos a utilizar para el riego, dado que el agua puede ser uno de los principales factores limitantes de determinados cultivos hortícolas.

Incluso cuando conocemos la composición del agua que usamos, es conveniente hacer un análisis cada cierto tiempo para cerciorarnos que no se ha producido variación en su composición.

Las características que se deben analizar del agua de riego a utilizar son las siguientes:

- *Conductividad eléctrica* (CE): Tiene relación directa con la cantidad total de sales que existen disueltas en el agua. A mayor concentración de sales mayor CE; se expresa en las unidades de mS • cm⁻¹ o dS • m⁻¹. El contenido de sales puede ser peligroso cuando pasa por encima de 1 g • l⁻¹, contabilizándose en esta cifra todos los iones existentes. El agua de riego será tanto más efectiva cuanto menor sea su CE.

- *pH*: Su valor altera la absorción vegetal por su influencia sobre el estado de asimilación del nutriente o la cantidad disponible del mismo. Se considera un rango de pH óptimo para el funcionamiento de las plantas el comprendido entre 6 y 6,5. Se consigue reducir el pH de las aguas de riego mediante la adición de ácidos; en este caso se utilizaron los ácidos nítrico (HNO_3) y fosfórico (H_3PO_4)
- *Iones*: Expresa la concentración de los aniones y cationes existentes en el agua, la cuales hay que tener en cuenta para el posterior cálculo de la solución nutritiva óptima para el cultivo.

El agua utilizada en el ensayo es un agua de buena calidad, siendo su composición química la que se muestra a continuación:

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y químico del agua de riego aplicada.

pH	CE ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	H_3CO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}
6,4	0,5	3,4	0,3	1,2	1	1

* Cationes y aniones expresados en $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

3.3.2. Solución nutritiva

Las disoluciones nutritivas tipo son infinitas y no se pueden estandarizar ya que dependen de la variabilidad de los factores de producción. La elección de una u otra viene condicionada por la variedad cultivada, fase de desarrollo, condiciones climatológicas del momento, calidad del agua de riego, etc.

Las concentraciones de los diferentes iones en las soluciones nutritivas se expresan normalmente en $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ó $\text{meq} \cdot \text{l}^{-1}$ y los microelementos en ppm.

Antes de la realización de los experimentos, no se encontró ningún documento o bibliografía en la que se utilizara una solución nutritiva adecuada para la producción de plántulas de col china en semillero. No obstante, se procedió al análisis de una solución nutritiva empleada por un semillero comercial para tener una referencia en los tratamientos de fertirrigación de la experimentación.

En la solución nutritiva analizada, se presentaban las siguientes concentraciones iónicas:

- $\text{NO}_3^- = 8,1 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{H}_2\text{PO}_4^- = 1,2 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{SO}_4^{2-} = 2 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{H}_3\text{CO}_3^- = 0,5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{NH}_4^+ = 0,5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{K}^+ = 5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{Ca}^{2+} = 4 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$
- $\text{Mg}^{2+} = 2 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$

Para comprobar la efectividad de esta solución nutritiva en las condiciones en que se iba a llevar a cabo el experimento, se realizó una experiencia previa que tuvo lugar durante los meses de octubre y noviembre. En esta experiencia se fertirrigaron las plántulas manteniendo fijos los niveles de todos los iones en la solución nutritiva, excepto los nitratos, que se aplicaron en cuatro niveles, cuyas concentraciones eran $2 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$, $4 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$, $8 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ y $12 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ de NO_3^- , tratamiento 1 (T1), tratamiento 2 (T2), tratamiento 3 (T3) y tratamiento 4 (T4), respectivamente.

Durante el período vegetativo se observaron diferencias apreciables, entre las plántulas fertirrigadas con estos tratamientos. Basándose en la bibliografía y en la experiencia práctica se decidió utilizar las mismas soluciones nutritivas en los sucesivos experimentos, puesto que la concentración de $12 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ iba a estar por encima de la óptima, y la concentración de $2 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ nos iba a servir para detectar la eficiencia por ser muy deficitaria en nitratos.

El contenido total en sales disueltas de cada tratamiento estuvo próximo a $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. La conductividad eléctrica varió entre tratamientos, pero se mantuvo constante al igual que los demás parámetros, a lo largo de todo el período de experimentación.

En la siguiente tabla se presenta la concentración de nitratos para cada uno de los tratamientos así como la conductividad eléctrica de cada uno de ellos.

Tabla 2. Conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas empleadas.

	T1	T2	T3	T4
meq • l ⁻¹ de NO ₃ ⁻	2	4	8	12
C.E. (mS • cm ⁻¹)	1,52	1,66	1,75	1,90

Los micronutrientes se suministraron mediante la preparación comercial Zipolex, siguiendo las recomendaciones y la dosis indicada por el fabricante (220 g • 10000 l⁻¹).

El pH se mantuvo entre 5.8 y 6.2. Estos valores se encuentran dentro de los niveles óptimos descritos por Abad *et al.*, (1993), para evitar la precipitación de sales, y así poder asegurar la presencia de todos los elementos en la solución. Para mantener este nivel de pH se realizaron diluciones con los ácidos nítrico y fosfórico.

El agua de riego con la que se prepararon las distintas soluciones, se caracterizó por ser un agua de bajo contenido en sales, presentando una CE de 0,51 dS • m⁻¹. Precisamente la calidad agronómica de esta agua ha permitido mantener las concentraciones de todos los iones constantes en todos los tratamientos, a excepción de los nitratos.

Los detalles de la composición de las soluciones nutritivas empleadas en los cuatro tratamientos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 3. Solución nutritiva T1

CE (mS • cm ⁻¹)	0,5	Aniones (mmol • l ⁻¹)					Cationes (mmol • l ⁻¹)				
pH	6,3	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
agua de riego		0,1	0,0	0,3	3,4	1,2	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
solución ideal		2,0	1,2	2,0	0,5	0,0	0,5	5,0	4,0	2,0	0,0
aportes previstos		1,9	1,2	1,7	2,9	0,0	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0
Abono	mmol • l ⁻¹										
H ₃ PO ₄	2,9		2,9		2,9						
HNO ₃	0,0	0,0			0,0						
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	1,0	1,9						1,0			
KNO ₃	0,0	0,0					0,0				
NH ₄ NO ₃	0,0	0,0					0,0				
Mg(NO ₃) ₂ •6H ₂ O	0,0	0,0								0,0	
MgSO ₄ •7H ₂ O	1,0			1,0						1,0	
K ₂ SO ₄	2,2			2,2				4,3			
H ₂ PO ₄ NH ₄	0,5		0,5				0,5				
KH ₂ PO ₄	0,7		0,7					0,7			
Cl ₂ Ca	1,5					3			1,5		
Aportes reales	9,7	1,9	4,1	3,2	2,9	4,1	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0

SOLUCIÓN NUTRITIVA FINAL	mmol • l ⁻¹	2,0	4,1	3,5	0,5	4,2	0,5	5,0	3,5	2,0	0,0
	meq • l ⁻¹	2,0	4,1	7,0	0,5	4,2	0,5	5,0	6,9	4,0	0,0
	ppm	124,0	394,5	335,7	30,5	148,9	9,0	195,5	138,0	48,6	0,0

TOTAL Solución nutritiva final	mmol • l ⁻¹	9,7
	meq • l ⁻¹	34,2
	ppm	1424,6
	cationes	16,4
	aniones	17,8

CE (mS • cm⁻¹)	inicial	0,5
	añadida	1,7
	final	2,2
pH	inicial	6,3
	final	6,2

Tabla 4. Solución nutritiva T2

CE (mS • cm ⁻¹)	0,5	Aniones (mmol • l ⁻¹)					Cationes (mmol • l ⁻¹)				
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
agua de riego		0,1	0,0	0,3	3,4	1,2	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
solución ideal		4,0	1,2	2,0	0,5	0,0	0,5	5,0	4,0	2,0	0,0
aportes previstos		3,9	1,2	1,7	2,9	0,0	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0
Abono	mmol • l ⁻¹										
H ₃ PO ₄	2,9		2,9		2,9						
HNO ₃	0,0	0,0			0,0						
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	2,0	3,9						2,0			
KNO ₃	0,0	0,0					0,0				
NH ₄ NO ₃	0,0	0,0					0,0				
Mg(NO ₃) ₂ •6H ₂ O	0,0	0,0							0,0		
MgSO ₄ •7H ₂ O	1,0			1,0						1,0	
K ₂ SO ₄	2,2			2,2				4,3			
H ₂ PO ₄ NH ₄	0,5		0,5				0,5				
KH ₂ PO ₄	0,7		0,7					0,7			
Cl ₂ Ca	1,1					2,1			1,1		
Aportes reales	10,2	3,9	4,1	3,2	2,9	2,1	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0

SOLUCIÓN NUTRITIVA FINAL	mmol • l ⁻¹	4,0	4,1	3,5	0,5	3,3	0,5	5,0	4,0	2,0	0,0
	meq • l ⁻¹	4,0	4,1	7,0	0,5	3,3	0,5	5,0	8,0	4,0	0,0
	ppm	248,0	394,5	335,7	30,5	117,0	9,0	195,5	160,0	48,6	0,0

TOTAL Solución nutritiva final	mmol • l ⁻¹	10,2
	meq • l ⁻¹	36,4
	ppm	1538,7
	cationes	17,5
	aniones	18,9

CE (mS • cm⁻¹)	inicial	0,5
	añadida	1,8
	final	2,3
pH	inicial	6,3
	final	6,0

Tabla 5. Solución nutritiva T3

CE (mS • cm ⁻¹)	0,5	Aniones (mmol • l ⁻¹)					Cationes (mmol • l ⁻¹)				
pH	6,3	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
agua de riego		0,1	0,0	0,3	3,4	1,2	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
solución ideal		8,0	1,2	2,0	0,5	0,0	0,5	5,0	4,0	2,0	0,0
aportes previstos		7,9	1,2	1,7	2,9	0,0	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0
Abono	mmol • l ⁻¹										
H ₃ PO ₄	1,0		1,0		1,0						
HNO ₃	1,9	1,9			1,9						
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	3,0	6,0						3,0			
KNO ₃	0,0	0,0					0,0				
NH ₄ NO ₃	0,0	0,0					0,0				
Mg(NO ₃) ₂ •6H ₂ O	0,0	0,0							0,0		
MgSO ₄ •7H ₂ O	1,0			1,0						1,0	
K ₂ SO ₄	2,3			2,3				4,6			
H ₂ PO ₄ NH ₄	0,5		0,5				0,5				
KH ₂ PO ₄	2,0		2,0					2,0			
Cl ₂ Ca	0,0					0,0			0,0		
Aportes reales	11,7	7,9	2,2	3,2	2,9	0,0	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0

SOLUCIÓN NUTRITIVA FINAL	mmol • l ⁻¹	8,0	3,5	3,6	0,5	1,2	0,5	6,6	4,0	2,0	0,0
	meq • l ⁻¹	8,0	3,5	7,3	0,5	1,2	0,5	6,6	8,0	4,0	0,0
	ppm	496,0	339,5	348,5	30,5	42,5	9,0	258,1	160,0	48,6	0,0

TOTAL Solución nutritiva final	mmol • l ⁻¹	11,7
	meq • l ⁻¹	39,6
	ppm	1732,7
	cationes	19,1
	aniones	20,5

CE (mS • cm ⁻¹)	inicial	0,5
	añadida	2,0
	final	2,5
pH	inicial	6,3
	final	5,9

Tabla 6. Solución nutritiva T4

CE (mS • cm ⁻¹)	0,5	Aniones (mmol • l ⁻¹)					Cationes (mmol • l ⁻¹)				
pH	6,3	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
agua de riego		0,1	0,0	0,3	3,4	1,2	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
solución ideal		12,0	1,2	2,0	0,5	0,0	0,5	5,0	4,0	2,0	0,0
aportes previstos		11,9	1,2	1,7	2,9	0,0	0,5	5,0	3,0	1,0	0,0
Abono	mmol • l ⁻¹										
H ₃ PO ₄	2,3		2,3		2,3						
HNO ₃	0,6	0,6			0,6						
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	4,7	9,3						4,7			
KNO ₃	0,0	0,0					0,0				
NH ₄ NO ₃	0,0	0,0					0,0				
Mg(NO ₃) ₂ •6H ₂ O	1,0	2,0							1,0		
MgSO ₄ •7H ₂ O	0,0			0,0					0,0		
K ₂ SO ₄	2,2			2,2				4,3			
H ₂ PO ₄ NH ₄	0,5		0,5				0,5				
KH ₂ PO ₄	0,7		0,7					0,7			
Cl ₂ Ca	0,0					0,0			0,0		
Aportes reales	11,9	11,9	1,2	2,2	2,9	0,0	0,5	5,0	3,5	1,0	0,0

SOLUCIÓN NUTRITIVA FINAL	mmol • l ⁻¹	12,0	3,5	2,5	0,5	1,2	0,5	5,0	5,7	2,0	0,0
	meq • l ⁻¹	12,0	3,5	5,0	0,5	1,2	0,5	5,0	11,3	4,0	0,0
	ppm	744,0	336,3	239,7	30,5	42,5	9,0	195,5	226,0	48,6	0,0

TOTAL Solución nutritiva final	mmol • l ⁻¹	11,9
	meq • l ⁻¹	43,0
	ppm	1872,1
	cationes	20,8
	aniones	22,2

CE (mS • cm ⁻¹)	inicial	0,5
	añadida	2,1
	final	2,7
pH	inicial	6,3
	final	5,8

3.3.3. Preparación de la solución nutritiva.

Las soluciones nutritivas se prepararon siguiendo el orden propuesto por (Resh, 1992):

1º Disolviendo los micronutrientes y luego los macronutrientes.

2º Añadiendo nitratos y después los fosfatos.

3º Agitar la solución al menos durante un cuarto de hora.

Los nitratos, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 y NH_4NO_3 producen una reacción endotérmica al disolverse en agua, disminuyendo la temperatura en función de la concentración (Pellicer *et al*, 1995), por este motivo su aporte se hizo al final.

Para evitar la formación de algas en las soluciones nutritivas se las mantuvo alejadas de la luz, y además se aportó 1 gr de KMnO_4 por cada 100 litros de agua.

Las medidas de pH se realizaron por medio de un peachímetro Crison 2002 y las de CE con un conductivímetro modelo LF90. En ambos casos, las medidas se hacían cada vez que se rellenaban los tanques de solución nutritiva, para asegurarnos de que seguían manteniendo las mismas relaciones de pH y CE que los tanques anteriormente gastados.

También se medían diariamente para detectar posibles reacciones químicas no deseadas durante el período de utilización de cada tanque.

3.4. Prácticas culturales.

3.4.1. Siembra.

La experiencia realizada, ha constado de tres experimentos, de los cuales el primero fue realizado como una fase previa en la que toda la experimentación sirvió para poner a punto los mecanismos, factores y variables que pudieran intervenir en los sucesivos experimentos.

Las distintas variedades de col china se sembraron sobre bandejas multicelulares de poliestireno expandido utilizadas en semilleros comerciales, con una densidad de siembra de 860 plántulas $\cdot m^{-2}$. Cada bandeja cuenta con 294 alveolos de sección cuadrangular, pues los alveolos cuadrados promueven más el crecimiento de brotes y raíces, la respiración radicular, la tasa fotosintética y el contenido de nutrientes, que bandejas de alveolos con otras formas geométricas (Chen *et al.*, 2002).

En total se sembraron 8 bandejas del tipo anteriormente descrito, con un total de 2.352 semillas de col china; 588 semillas, es decir, 2 bandejas por variedad. Para facilitar su manejo se dividieron las bandejas cortándolas en 4 partes iguales.

El medio de cultivo estaba compuesto en su totalidad por perlita de tipo B-12, formada por fracciones medias y gruesas, junto con las fracciones finas (0-5 mm, densidad 105-125 kg $\cdot m^{-3}$). Este sustrato fue escogido por ser un material inerte, que no se descompone biológica ni químicamente; además, facilita la extracción de los cepellones y permite una fácil limpieza del sistema radical de las plántulas, con lo que nos ahorra trabajo a la hora de tomar las sucesivas muestras, a pesar de no ser un sustrato muy utilizado para semillas de col china en nuestra comarca.

Antes de realizar la siembra se humedeció el sustrato con abundante agua para facilitar su manipulación. Luego las semillas fueron sembradas a una profundidad de 1 cm aproximadamente, siguiendo las recomendaciones de la FAO, (George, 1983). Inmediatamente después de la siembra se volvió a humedecer de forma más ligera.

3.4.2. Germinación.

Una vez sembradas las bandejas, se apilaron unas sobre otras, y se colocaron en una habitación oscura a una temperatura que oscilaba entre 15 y 18 °C, temperatura de germinación recomendada por Maroto (2002), durante 3 días, que es cuando se producía la nascencia de las semillas. Una vez germinadas, se llevaron al semillero, donde se sometieron a los tratamientos anteriormente descritos y permanecieron hasta que se hicieron los muestreos correspondientes.

3.4.3. Riego.

El sistema de riego empleado ha sido por microaspersión. Cada mesa ha sido regada por 10 microaspersores montados sobre válvulas antigoteo que se abrían cuando se alcanzaba una presión de 2 Kg • cm⁻². Los microaspersores iban separados unos de otros a 40 cm. Las características de éstos son:

Presión de trabajo: 3 kg • cm⁻².

Diámetro de cubrimiento: 1,5 m.

Caudal: 40 l • h⁻¹.

Para calcular la uniformidad del sistema de riego, se mantuvo regando el semillero durante 3 minutos, y se midió el volumen de agua recogida en las bandejas de recogida de drenajes con una probeta de 1 litro con una sensibilidad de 10 ml.

Posteriormente se calculó el coeficiente de uniformidad mediante la fórmula de Christiansen:

$$CU (\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=0}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot x} \right)$$

x_i = altura de agua recogida por cada pluviómetro,

\bar{x} = altura media de agua recogida en el total de los pluviómetros

n = número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Mesa 1: CU = 88 %

Mesa 3: CU = 87 %

Mesa 2: CU = 87 %

Mesa 4: CU = 89 %

Según Lozano (1983), son aspersores admisibles los que presentan un grado de uniformidad superior al 80%, con vientos de hasta $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. En nuestro caso, el sistema de riego es uniforme en las cuatro mesas.

El sistema de riego carecía de sistema de inyección de fertilizantes, por tanto, las soluciones se prepararon cuatro tanques con una capacidad de 300 litros cada uno con la solución nutritiva a la concentración final. Cada tanque se preparaba con un tratamiento diferente de abonado e irrigaba una sola mesa.

Cada solución nutritiva era bombeada por una bomba eléctrica a los microaspersores. Cada bomba posee una potencia de 0,5 CV y un caudal máximo de $3500 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Para poder controlar la presión de trabajo, el sistema contaba con un mecanismo de retorno que era graduado manualmente mediante la apertura gradual de una válvula.

Finalmente el sistema contaba con un filtro de malla, un manómetro y con una electroválvula normalmente cerrada, que se abría cuando se ponía en marcha la bomba.

Según Krizek *et al.* (1985), las plantas cultivadas en pequeños contenedores de perlita como medio de cultivo no experimentan, necesariamente, estrés hídrico si la frecuencia del riego es la apropiada.

Los primeros riegos se aplicaron a los 3 días de haberse sembrado las semillas. La frecuencia era de 4 veces al día con una duración de dos minutos cada riego. Para permitir esta frecuencia, se contaba con un programador electrónico tipo Himarcan XL4, que activaba las bombas y abría las electroválvulas.

3.4.4. Tratamientos fitosanitarios.

Los tratamientos fitosanitarios fueron aplicados con fines preventivos respecto a enfermedades criptogámicas o plantas, que pudieran debilitar a las plántulas.

Para ello, se trató con METAMIDOFOS 50% p/v en aplicación foliar, cuya formulación se recomienda para el control de áfidos, moscas blancas, heliothis y ácaros (De Liñán, 2012). También se trató con PROPAMOCARB, 72.2% p/v y con MANCOZEB 45% p/v. El primero indicado para el control de las podredumbres de

raíz y cuello producidas por *Phytophthora*, *Pythium* y otros Ficomycetos y el segundo recomendado en el control de alternariosis, gloeosporiosis, oomicosis, septoriosis y otras enfermedades (De Liñán, 2012).

La dosis empleada se estableció en función la fase de crecimiento de la planta, así pues, al estar dirigida la experiencia a plántulas de semillero, las dosis empleadas se correspondieron con la mitad de la recomendada por los productos.

Se dieron dos tratamientos; el primero, a los 5 días de la nascencia de las plántulas, con PROMAMOCARB 72% p/v, mientras que el segundo se aplicó 15 días después del primero, con PROPAMOCARB 72% p/v, METAMIDOFOS 50% p/v y MANCOZEB 45% p/v.

3.5. Descripción del diseño

El diseño experimental consta de tres fuentes de variación o factores: el primer factor es el experimento, que consta de 2 posibles niveles, el segundo es la variedad y consta de 4 niveles, y el tercer factor es el tratamiento, que consta de 4 posibles niveles. En definitiva, en cada uno de los 2 experimentos, se someten 4 variedades distintas de col china a un tratamiento basado en el condicionamiento nutritivo, compuesto de 4 soluciones nutritivas con distintas concentraciones de nitratos, y a su vez, cada tratamiento está compuesto por 3 repeticiones de 49 plántulas cada una.

Tanto para el cálculo de la *eficiencia en el uso de nitratos*, como para el de los parámetros de *calidad pre-trasplante*, no se ha tenido en cuenta el efecto de la evolución en el tiempo de los mismos, para incluirlo como un factor más. Esto se debe a que todos estos parámetros son descritos en la bibliografía consultada cuando las plántulas van a ser trasplantadas, no importando el proceso de desarrollo de estos parámetros a lo largo del desarrollo de la plántula. Por tanto, se aplicó un diseño multifactorial para los distintos factores en el último muestreo, momento del trasplante.

Respecto a los *índices de crecimiento*, se ha tenido en cuenta la evolución de la planta en el tiempo y solo se ha analizado si hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos mediante un contraste de hipótesis, con el test de

menores diferencias significativas (LSD) de Fisher, porque con los datos obtenidos se pretende dar una explicación a los demás factores analizados estadísticamente.

3.5.1. Sistema de muestreo.

Los métodos destructivos utilizados para evaluar el crecimiento vegetal son simples tanto en términos de equipo como de la habilidad técnica requerida para su empleo; sin embargo, demandan una gran cantidad de trabajo aun para procesar muestras pequeñas.

Sus mayores desventajas son los errores de muestreo derivados de la cosecha de pocas plantas y de plantas diferentes en cada fecha de muestreo.

Al planificar el experimento, tenemos que decidir cuál de las dos posibles vertientes nos conviene seguir:

- a) el análisis de crecimiento clásico, consistente en pocos muestreos a lo largo de la vida del cultivo, pero cada uno de ellos compuesto de muchas repeticiones.
- b) el análisis funcional del crecimiento, en el que el número de repeticiones de cada muestreo es bajo, pero el número total de muestreos y su frecuencia, es alto.

En este experimento nos hemos decantado por el enfoque clásico, que se ajusta mejor al objetivo del mismo, por lo que tomamos semanalmente 3 muestras aleatorias de cada una de las 3 repeticiones de cada variedad y tratamiento; de esta forma, en cada muestreo analizaremos 144 muestras; 36 plántulas por variedad, compuestas de 4 series de 9 plantas, una serie por tratamiento, divididas a su vez en 3 repeticiones.

3.5.2. Tratamiento estadístico.

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado con el paquete informático Statgraphics Centurion XVI ©, Version 16.1.11, y se ha centrado en la aplicación de los siguientes análisis:

3.5.2.1. Análisis de la varianza.

Necesitamos poder comparar simultáneamente todas las medias. Esto nos lo permite el test ANOVA (Analysis of variance), que se basa en la comparación de la variabilidad media que hay entre los grupos con la que hay dentro de los grupos. Para ello parte de 3 requisitos previos:

- La *independencia*; es el investigador quien debe garantizarla mediante una adecuada toma de muestras.
- La *normalidad*; debe contrastarse mediante un test apropiado, por ejemplo el de Kolmogorv-Smirnov.
- La *homocedasticidad u homogeneidad de las varianzas*; debe también contrastarse con un test apropiado como F de Fisher o de Levene.

La varianza (S^2), se define como la media de las diferencias cuadráticas de n puntuaciones con respecto a su media aritmética. La varianza no tiene la misma magnitud que las observaciones. Si queremos que la medida de dispersión sea de la misma dimensionalidad que las observaciones, bastará con hacer su raíz cuadrada. Por ello se define la desviación típica S como $\sqrt{S^2}$.

La contribución de cada factor aislado o emparejado ha sido medida, habiendo eliminado los efectos de los demás factores.

Las letras que aparecen en las tablas muestran la significancia estadística de cada uno de los factores. Cuando las letras entre niveles son diferentes, esos factores tienen un efecto estadísticamente significativo para el parámetro a un nivel de confianza del 95 %. En la siguiente página se explica esta cuestión con más detalle.

3.5.2.2. Test de rango múltiple.

El método usado para discriminar entre las medias es el de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). En las tablas y gráficos obtenidos se aplican comparaciones múltiples para determinar qué medias son significativamente diferentes de cuáles otras.

3.5.3. Nomenclatura usada.

En referencia a la nomenclatura usada en tablas y gráficos:

Una letra es asignada a cada uno de los niveles posibles de la variable. Los grupos homogéneos entre cuyos niveles no existen diferencias significativas comparten la misma letra. Cuando las letras son diferentes, indica que esos grupos presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% del nivel de confianza.

Cuando a un grupo se le asignan dos ó más letras diferentes, éstas determinan la pertenencia del mismo a la intersección de los grupos homogéneos en los que cualquiera de las letras está presente.

Para facilitar el estudio estadístico y la consiguiente redacción del mismo, se hacen las siguientes consideraciones previas:

- Ensayo 1; E1: Ensayo realizado en invierno.
- Ensayo 2; E2: Ensayo realizado en primavera.

- Tratamiento 1; T1: $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$
- Tratamiento 2; T2: $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$
- Tratamiento 3; T3: $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$
- Tratamiento 4; T4: $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$

- Variedad 1; V1: 9164
- Variedad 2; V2: Kasumi
- Variedad 3; V3: Elliot
- Variedad 4; V4: Asten

- Muestreo 1; M1: 10 días después de la siembra
- Muestreo 2; M2: 17 días después de la siembra
- Muestreo 3; M3: 24 días después de la siembra
- Muestreo 4; M4: 31 días después de la siembra

3.6. Preparación de las muestras.

Durante el ciclo de crecimiento de las plántulas de cada experimento, se han hecho cuatro muestreos; el primero cuando las plántulas tenían 10 días desde la siembra, el segundo a los 17 días, el tercero a los 24 días y el cuarto a los 31 días.

La metodología en sí, sigue un sistema de muestreo destructivo:

- Cada mesa se fertirrigaba con un tratamiento diferente, y sobre de cada mesa, había 16 bandejas de poliestireno expandido; cada cuatro bandejas, eran sembradas por una variedad diferente de col china, hasta completar las 4 variedades.

- Se anotaba el número de plantas totales que había en cada bandeja antes de hacer el muestreo y el número de plantas que constituía cada muestra.

- De cada bandeja se extraía con cuidado de no dañar el material vegetal, un número variable de plántulas lo suficientemente alto como para que la cantidad de materia vegetal fuera significativa a la hora de determinar parámetros como el peso seco, porcentaje de nitratos, etc. Para evitar el efecto “borde” que se producía en las bandejas, las plantas extraídas procedían de las zonas centrales de la bandeja, dejando las de la periferia.

- Posteriormente, se lavaban las muestras con agua para eliminar los restos de sustrato que se encontraban adheridos a las raíces. Tras el lavado, las muestras eran secadas en papel de filtro, y se introducían en bolsas de polietileno, donde eran etiquetadas indicando la repetición, variedad, tratamiento y muestreo correspondiente.

A partir de aquí, las muestras eran llevadas al laboratorio, donde se preparaban para la medida de parámetros y cálculo de índices eficiencia, crecimiento y calidad que a continuación se detallan.

3.6.1. Parámetros físicos.

La necesidad de definir que características tiene que tener una planta para obtener una determinada respuesta obliga a medir distintos parámetros que se relacionan con su capacidad de soportar el estrés del trasplante y con su comportamiento posterior.

Las mediciones y cálculos realizados en el presente trabajo hacen referencia a la respuesta de una plántula media.

3.6.1.1. *Peso fresco.*

Se obtenía separando el material vegetal fresco en raíz y hoja. El peso fresco se determinó con una balanza de precisión tipo Metter 4600 Delta Range, cuya sensibilidad es de 0,01 g.

3.6.1.2. *Área foliar.*

Se determinó con la medida de la superficie de las hojas existentes en cada muestreo. Esta medida se realizó a través de la captación de imágenes de las hojas mediante un scanner tipo HP ScanJet II y su posterior tratamiento informático con el programa de análisis de imágenes IDRISI ver. 4.1 ©.

3.6.1.3. *Número de hojas.*

En esta medida sólo se consideraron las hojas que presentaron una longitud superior a 1 cm (Hoyos, 1995). Las hojas cotiledonarias no se tuvieron en cuenta.

Una vez medidos estos tres parámetros, las muestras se introducen en una estufa con corriente de aire forzado a una temperatura de 60 a 70 °C durante 16 a 24 horas, hasta hacer el peso constante.

3.6.1.4. *Peso seco.*

Transcurrido ese tiempo, el material vegetal se retira de la estufa y se vuelve a pesar por separado, raíces y hojas, ya que existe una elevada correlación entre el contenido de biomasa seca y la supervivencia de la plántula tras el trasplante (Hoyos, 1995).

3.6.1.5. *Nitratos en hoja.*

Los análisis químicos se realizaron sobre la parte aérea de las plántulas tomadas en el último muestreo de ambos experimentos.

Para la preparación de las muestras, se procedió a la molienda de estas hasta alcanzar el estado de polvo, para lo cual se empleó un molinillo de café eléctrico. Una vez que las muestras estaban bien molidas, se guardaron en bolsas de plástico; el material molido se introdujo en una estufa durante 16 horas a 70 °C. Transcurrido ese tiempo, las muestras se dejaron enfriar en un desecador.

Se determinaron los nitratos siguiendo la metodología empleada por Cataldo *et al.* (1975), la cual se describe a continuación:

En primer lugar se necesita de una extracción acuosa de las muestras. Para esto, se pesó 0,1 g de material seco de cada muestra; seguidamente, a cada muestra se le añadió 10 ml de agua destilada y se introdujo en un baño María a 60 °C durante 2 horas. Transcurrido dicho tiempo, se filtraron y centrifugaron las muestras a 6000 revoluciones por minuto con una centrifugadora-refrigeradora tipo Hermle Z320 K, durante 15 minutos, para obtener el sobrenadante denominado eluato.

Se toma una alícuota de 0,2 ml de la muestra, y se le adiciona 0,8 ml de un reactivo formado por ácido salicílico y ácido sulfúrico al 5 %; después se le adicionan 19 ml de hidróxido sódico 2 N, tornándose el conjunto de un color amarillo que delata la presencia de nitratos en la muestra.

Finalmente, se mide la intensidad de color por colorimetría, a una longitud de onda de 410 nm, en un espectrofotómetro tipo Zuzi modelo 721.

Para poder traducir los datos de absorbancia a porcentaje de nitratos en hoja, se utilizó una curva patrón con las siguientes concentraciones de nitratos: 0, 1, 2, 3 y 4 meq • l⁻¹. Se correlacionó la concentración de nitratos de cada uno de los puntos de la curva (CN) con la absorbancia medida en el colorímetro (A), y se obtuvo la siguiente función:

$$CN = A \cdot 6,70002 + 28,1461$$

Una vez conocida CN, se pudo conocer el porcentaje de nitratos mediante la siguiente ecuación:

$$\%NO_3^- = CN \text{ (meq} \cdot \text{l}^{-1}\text{)} \cdot \frac{62 \text{ mg NO}_3^-}{1 \text{ meq}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml muestra}} \cdot \frac{1 \text{ ml muestra}}{0,1 \text{ mg materia seca}} \cdot 100$$

3.6.2. Índice de eficiencia en el uso de nutrientes.

En este trabajo nos centramos en la eficiencia de utilización de nitratos (NUE), teniendo en cuenta la concentración de éstos aplicada en el abonado y la producción de biomasa seca total.

Este índice con el que relacionamos los dos parámetros se calcula con la relación:

$$NUE = Pst \cdot (NO_3^-)^{-1}$$

- Pst es el peso seco total de la planta, expresado en mg.
- NO₃⁻ es la cantidad total de nitratos aportada durante toda la fase de semillero, expresada en mg.

El valor obtenido nos indica la biomasa total producida por mg de nitrato aportado en el abonado. Con todos los valores obtenidos, se hace un promedio y obtenemos un único valor que representa una plántula media para cada variedad.

3.6.3. Índices de calidad

Se obtienen relacionando los parámetros físicos que se han determinado por medición directa.

Las unidades empleadas pueden dar lugar a confusión por tratarse de relaciones entre sí de unidades de masa o superficie, sin embargo, es conveniente considerarlas, pues se trata de magnitudes que hacen referencia a diferentes parámetros, aunque se hayan cuantificado empleando las mismas unidades de medida. Autores como Lallana *et al.* (2004), siguen este criterio en trabajos de análisis de crecimiento vegetal.

3.6.3.1. Porcentaje de peso seco.

Es la relación entre el peso de la biomasa total seca y el peso de la biomasa total fresca:

$$\% \text{ peso seco} = \frac{\text{Peso seco total}}{\text{Peso fresco total}} \cdot 100$$

3.6.3.2. Relación peso seco aéreo - peso seco radical (PSA/PSR)

Es el resultado de dividir el peso de la biomasa seca aérea entre la biomasa seca radical ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$).

3.6.3.3. Área foliar específica (SLA).

Este parámetro relaciona el área foliar con el peso seco de los limbos ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). Su cálculo según Hunt *et al.* (2002), es el siguiente:

$$\text{SLA} = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Peso seco de los limbos}}$$

En nuestro caso, para plántulas de col china, el peso seco de los limbos puede considerarse como el peso seco de la parte aérea, teniendo en cuenta las reducidas dimensiones del tallo y su capacidad fotosintética.

3.6.4. Índices de crecimiento.

3.6.4.1. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca (Vcb).

Se expresa en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$ y nos indica la cantidad de materia seca que genera cada planta al día. La materia seca puede referirse a biomasa seca aérea, radical y total. Se calcula de la siguiente forma:

$$V_{cb} = \frac{Ps_2 - Ps_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

- Ps_2 = Peso seco de la parte aérea, radical o total en el presente muestreo.
- Ps_1 = Peso seco de la parte aérea, radical o total en el muestreo anterior.
- $t_2 - t_1$ es el tiempo que transcurre entre el muestreo presente y el anterior.

3.6.4.2. Tasa de peso foliar (LWR).

Este parámetro relaciona el peso de la biomasa seca aérea con el peso de la biomasa seca total. En este caso, también se considerará el peso seco foliar como el peso seco de la parte aérea por las razones anteriormente comentadas.

Su cálculo es el siguiente:

$$LWR = \frac{\text{Peso seco foliar}}{\text{Peso seco total}}$$

3.6.4.3. Velocidad de crecimiento del área foliar (Vclaf).

Se expresa en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ y nos indica el área foliar que genera cada planta al día. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{cla} = \frac{LA_2 - LA_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

- LA_2 = Área foliar en el presente muestreo.
- LA_1 = Área foliar en el muestreo anterior.
- $t_2 - t_1$ es el tiempo que transcurre entre el muestreo presente y el anterior.

3.6.3.4. Índice de área foliar (LAI).

Es el resultado de dividir el área foliar o superficie fotosintética (m^2) y la unidad de superficie (m^2) en que crece el área fotosintética (Lallana *et al.*, 2004).

3.6.4.5. Velocidad de diferenciación foliar (Vcdf).

Nos indica el número de hojas que genera la plántula al día. Se expresa en n° de hojas $\cdot d^{-1}$. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Vcdf = \frac{H_2 - H_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

- H_2 es el número de hojas en el presente muestreo.
- H_1 es el número de hojas en el muestreo anterior.
- $t_2 - t_1$ es el tiempo que transcurre entre el muestreo presente y el anterior.

3.6.4.6. Velocidad de asimilación neta (NAR)

Este parámetro puede ser definido para el área foliar, nitrógeno foliar, o biomasa seca foliar. NAR se refiere a períodos de crecimiento, y se expresa no como valor total, sino como porción de los tejidos productivos. Se calcula mediante la ecuación formulada por Gregory:

$$NAR = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln LA_2 - \ln LA_1}{LA_2 - LA_1}$$

- P_2 es el peso total de la planta en el presente muestreo.
- P_1 es el peso total de la planta en el muestreo anterior.
- $t_2 - t_1$ es el tiempo que transcurre entre el muestreo presente y el anterior.
- LA puede ser el valor de cualquier medición del tamaño del aparato asimilatorio, es decir, área de la hoja, área de la hoja y tallo, peso de la hoja, nitrógeno o proteína foliar, etc. Sin embargo, el área foliar es el atributo usado comúnmente.

El valor obtenido nos indica la biomasa total producida por día y por unidad de superficie foliar, gramos de nitratos en hojas o gramos de biomasa seca foliar.

3.6.4.7. Velocidad de crecimiento relativo (RGR)

Este parámetro puede ser definido para el área foliar, nitrógeno foliar, o biomasa seca. Para Blackman, RGR puede calcularse matemáticamente y para un intervalo delimitado por t_1 y t_2 , como:

$$RGR = \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{t_2 - t_1}$$

La velocidad de crecimiento relativo (RGR) relaciona la velocidad de crecimiento con el peso que acaba de ser alcanzado e indica la eficiencia por unidad de biomasa total producida.

En todos los parámetros, se medía para el total de plántulas recogidas en la muestra y posteriormente se calculaba la media del parámetro por plántula.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Parámetros físicos.

Aunque se ha dicho anteriormente, quizá es conveniente remarcar que las mediciones y cálculos realizados en el presente trabajo hacen referencia a la respuesta de una plántula media.

4.1.1. Peso fresco total.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo y tratamiento tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el desarrollo de la biomasa fresca.

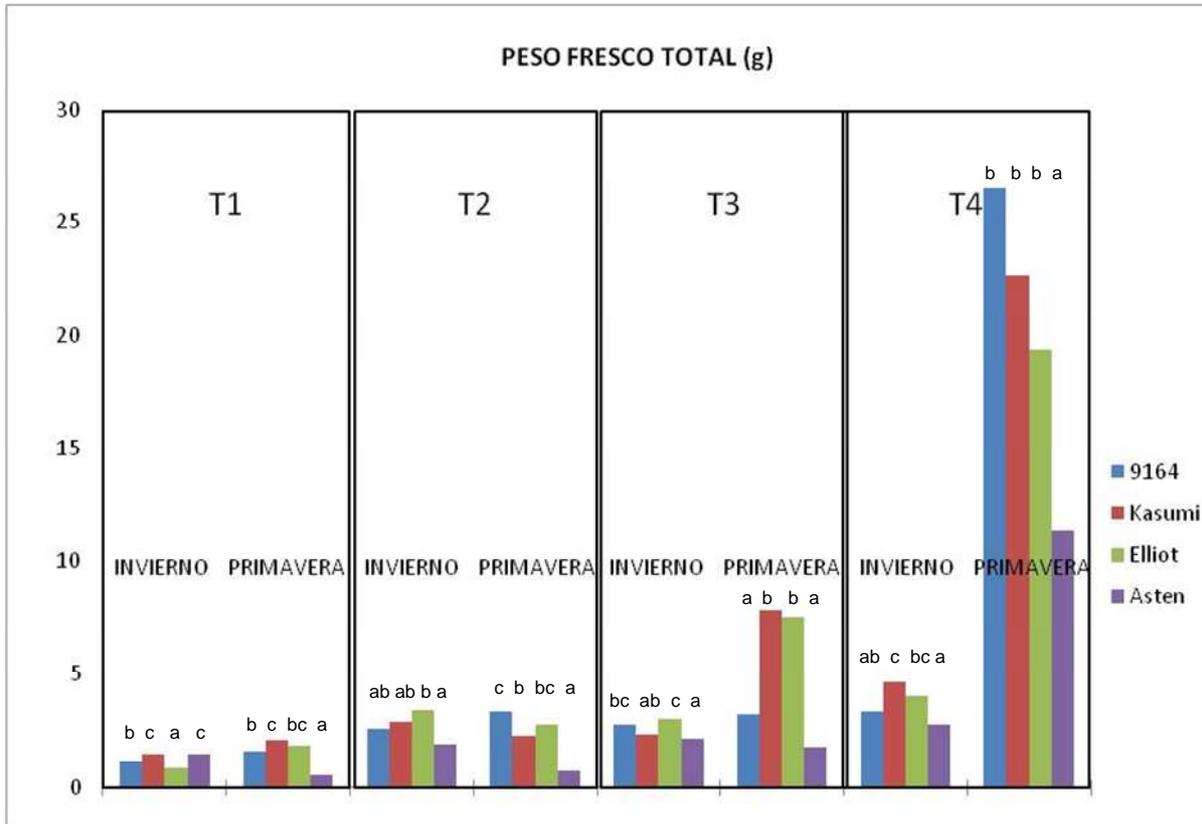
Tabla 7. Resultados del peso fresco total medio y varianza expresados en gramos.

Var. Trat.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	1,19±0,02 a	1,57±0,05 a	1,46±0,14 a	2,07±0,19 a	0,83±0,12 a	1,85±0,42 a	1,44±0,15 a	0,55±0,04 a
T2	2,56±0,47 b	3,39±1,13 a	2,89±0,18 b	2,24±0,35 a	3,44±0,93 b	2,78±0,13 a	1,90±0,24 ab	0,70±0,05 a
T3	2,77±0,41 bc	3,26±0,86 a	2,30±0,23 ab	7,82±1,27 b	2,97±0,47 b	7,50±1,27 a	2,11±0,14 b	1,77±0,44 a
T4	3,36±0,12 c	26,50±3,06 b	4,62±0,86 c	22,65±2,37 c	4,02±0,36 b	19,40±6,89 b	2,74±0,43 c	11,40±2,52 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 7 se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que demuestra su influencia en la producción de biomasa fresca de las plántulas.

Gráfico 3. Peso fresco total de la distintas variedades expresado en gramos, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 3 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre variedades.

En el ensayo de primavera, tratamiento 4, tenemos la mayor producción de biomasa fresca para las cuatro variedades, ocupando el primer lugar la variedad 9164, seguida de Kasumi, Elliot y Asten.

Para las cuatro variedades, los niveles más altos se dan en el ensayo de primavera, tratamiento 4 (12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹).

Romero (1998), realizó un experimento similar con lechuga, y obtuvo las mismas conclusiones; en el rango 2-12 mmol de $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$, a medida que incrementamos la concentración de nitratos en la solución nutritiva, se produce un aumento del peso fresco total en las plántulas.

Lo mismo ocurre en brócoli en el rango 2-16 mmol de $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$, según concluye el trabajo de Hernández (2001).

4.1.2. Peso seco total.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo y tratamiento tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el desarrollo de la biomasa seca, obteniéndose niveles más altos en el ensayo de primavera.

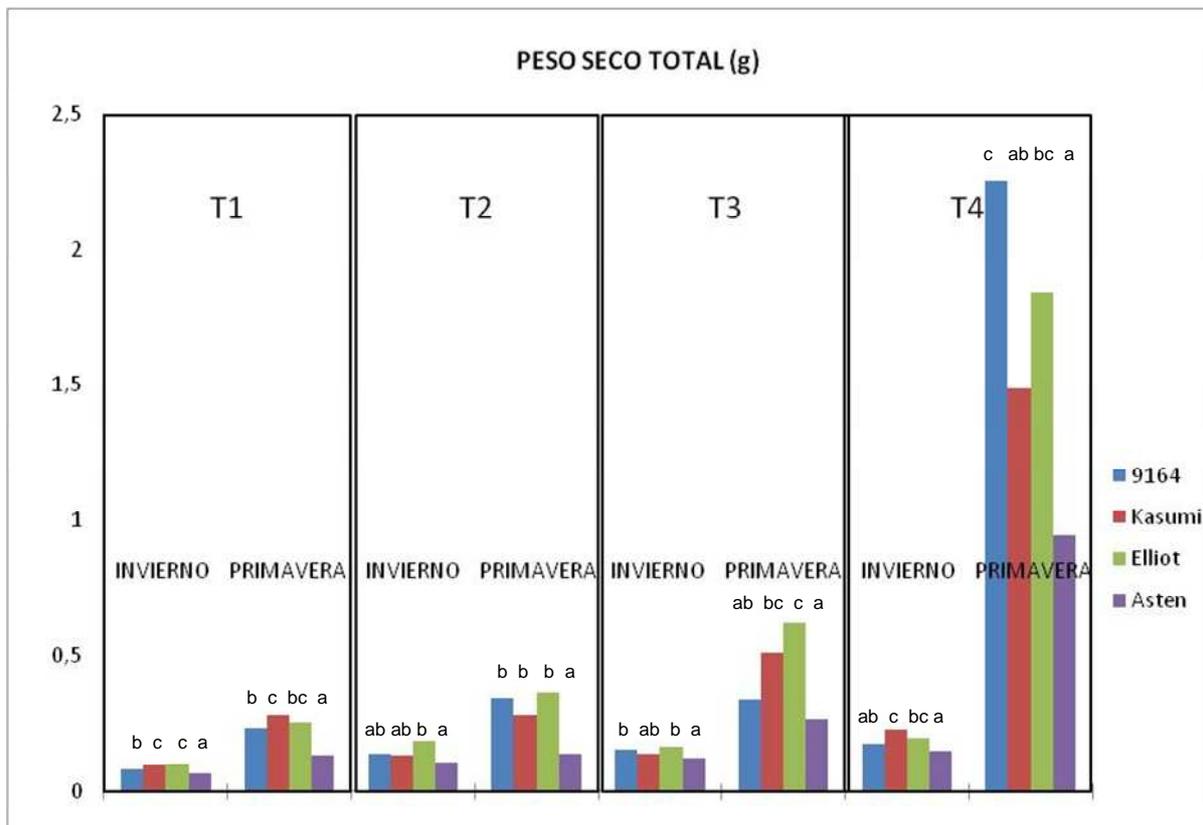
Tabla 8. Resultados del peso seco total medio y varianza expresados en gramos.

Var.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	0,08±0,00 a	0,23±0,01 a	0,09±0,01 a	0,28±0,02 a	0,10±0,00 a	0,25±0,01 a	0,06±0,01 a	0,13±0,02 a
T2	0,13±0,03 b	0,34±0,09 a	0,13±0,02 a	0,27±0,03 a	0,18±0,04 b	0,36±0,02 a	0,10±0,01 b	0,13±0,03 a
T3	0,15±0,02 bc	0,33±0,13 a	0,14±0,01 a	0,51±0,09 a	0,16±0,01 b	0,62±0,07 a	0,12±0,01 bc	0,26±0,13 a
T4	0,17±0,00 c	2,25±0,28 b	0,22±0,03 b	1,48±0,22 b	0,19±0,01 b	1,84±0,50 b	0,14±0,02 c	0,94±0,13 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 8 vemos diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que demuestra su influencia en la producción de biomasa seca de las plántulas.

Gráfico 4. Peso seco total de la distintas variedades expresado en gramos, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 4 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre variedades.

En primer lugar, la más productiva es la variedad 9164, seguida de Elliot, Kasumi y Asten.

En el tratamiento 4 de primavera, se alcanza la mayor producción de biomasa seca para las cuatro variedades, a mayor concentración de nitratos, en el rango estudiado, más biomasa producen las plántulas.

Sallaku *et al.* (2009), estudiando el efecto de diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva sobre NUE y el reparto de la biomasa seca en plántulas de pimiento, tomate y berenjena, afirma que el aumento de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva fue seguida por un aumento progresivo del peso seco de la planta entera.

En lechuga, los resultados obtenidos por Romero (1998), difieren de las obtenidas en el presente trabajo en el que la máxima producción de biomasa seca se da en cultivo de primavera, con $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; mientras que en invierno, el máximo alcanzado se da con $4 \text{ mmol de NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$.

En brócoli, Hernández (2001), concluye que es en primavera en el tratamiento de $16 \text{ mmol de NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ cuando mayor cantidad de biomasa seca total alcanzan las plántulas.

Según Hoyos (1995), existe una elevada correlación entre el contenido en materia seca y la supervivencia de la plántula tras el trasplante. Parece ser éste el mejor parámetro para evaluar la sensibilidad de la plántula y suele ocurrir que cuanto mayor es el contenido en materia seca más resistente es la planta al estrés (Herrera *et al.*, 2009).

4.1.3. Área foliar.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo, tratamiento y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el desarrollo de la superficie foliar.

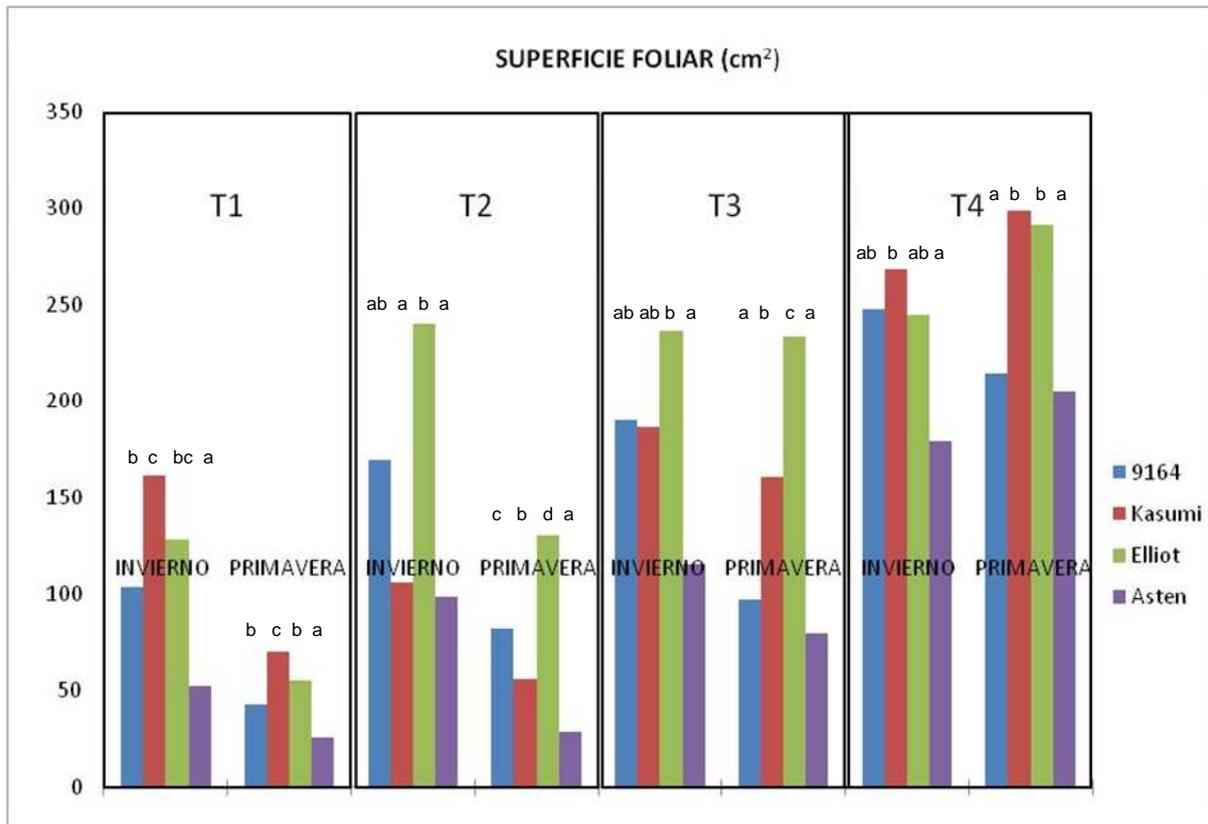
Tabla 9. Resultados del área foliar media y varianza expresados en cm^2 .

Var. Trat.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	103,39±32,87 a	42,54±3,79 a	161,55±15,95 ab	70,26±7,31 a	128,35±22,54 a	54,64±10,07 a	51,79±31,91 a	25,90±4,36 a
T2	169,58±33,17 ab	82,00±2,38 b	106,33±43,54 a	55,62±7,81 a	239,68±45,51 b	130,89±20,68 b	98,25±53,50 a	28,88±2,79 a
T3	189,73±33,68 bc	96,98±10,30 b	186,53±28,83 b	160,57±17,65 b	236,07±63,97 b	233,59±13,22 c	115,67±34,68 ab	79,28±20,66 b
T4	247,61±41,88 c	214,50±12,14 c	268,47±58,16 c	298,30±14,32 c	244,78±12,57 b	291,57±19,35 d	179,31±25,54 b	204,64±19,33 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

La tabla 9 delata diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos probando así su influencia en el desarrollo de la superficie foliar de las plántulas.

Gráfico 5. Área foliar de la distintas variedades expresada en cm^2 , para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 5 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre variedades.

La variedad con más superficie foliar es Kasumi, seguida de Elliot, aunque sin diferencias estadísticamente significativas, ambas en cultivo de primavera y abonadas con $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$.

Se obtienen niveles más altos en el ensayo de invierno en los tratamientos T1, T2 y T3; mientras que T4 favorece un mayor crecimiento del área de las hojas en primavera.

Las cuatro variedades alcanzan mayor superficie foliar cuanto mayor es la concentración de nitratos en la solución nutritiva, en nuestro caso, 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹.

Colla *et al.* (2011), en un estudio sobre eficiencia de uso de nitrógeno en mini-sandía (*Citrullus lanatus*, cv. Minirossa), concluye que en el rango 0,5-15 mmol de nitratos en la solución nutritiva, el área foliar aumenta, y disminuye a partir de 20 mmol.

En plántulas de brócoli, según Hernández (2001), la superficie foliar aumenta con la concentración de nitratos hasta los 16 mmol NO₃⁻ • l⁻¹. Por otro lado, Romero (1998), trabajando con lechuga, concluye que la máxima producción de superficie foliar se obtiene con 8 mmol de NO₃⁻ • l⁻¹.

Scully y Wallace (1990), en estudios hechos con judía, indicaron que las variedades más productivas fueron las que alcanzaron los valores más altos de área foliar en el pre-trasplante.

4.1.4. Número de hojas.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo, tratamiento y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la producción de hojas.

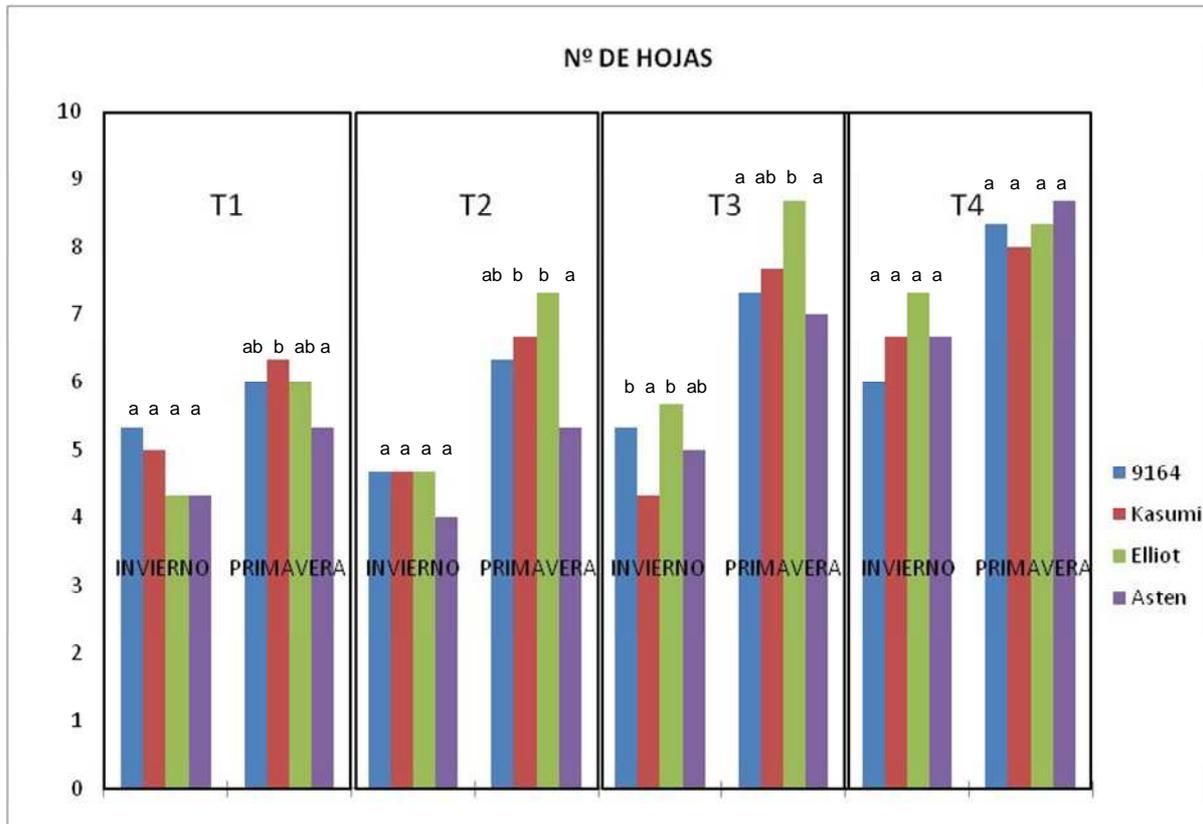
Tabla 10. Resultados del n° de hojas medio y varianza.

Var.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	5,3±0,6 a	6,0±0,0 a	5,0±0,0 a	6,3±0,6 a	4,3±0,6 a	6,0±0,0 a	4,3±1,2 a	5,3±0,6 a
T2	4,7±0,6 ab	6,3±0,6 a	4,7±0,6 a	6,7±0,6 a	4,7±0,6 a	7,3±0,6 b	4,0±1,0 a	5,3±0,6 a
T3	5,3±0,6 ab	7,3±0,6 b	4,3±0,6 a	7,7±0,6 b	5,7±0,6 ab	8,7±0,6 c	5,0±0,0 ab	7,0±1,0 b
T4	6,0±1,0 b	8,3±0,6 c	6,7±1,2 b	8,0±0,0 b	7,3±1,5 b	8,3±0,6 c	6,7±1,5 b	8,7±0,6 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza (p<0,05) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 10 se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que demuestra su influencia en la producción de hojas de las plántulas.

Gráfico 6. Número de hojas de la distintas variedades, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 6 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre algunas variedades, según que ensayo y tratamiento, para la producción de hojas.

Las variedades que más hojas generan son Elliot en primavera, tratamiento 3 y Asten en primavera, tratamiento 4, no existiendo ninguna diferencia entre ambas; les sigue la variedad 9164 de primavera, tratamiento 4; y en último lugar, está la variedad Kasumi que tiene su máximo en primavera, tratamiento 4.

En el tratamiento 4 no hay diferencias estadísticamente significativas entre variedades del mismo ensayo.

Para las cuatro variedades, los niveles más altos se dan en el ensayo de primavera, tratamiento 4 ($12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), excepto Elliot que produce más hojas en el tratamiento 3.

Laguna (2012) en un ensayo con pepino, y Romero (1998), en su trabajo con lechuga, concluyen coincidiendo con Hernández (2001) en su trabajo con brócoli, y con el presente proyecto, que a medida que incrementamos la concentración de nitratos en la solución nutritiva, se produce un aumento en la producción del número de hojas en plántulas.

Aunque no todas las especies responden igual, pues en un ensayo con espinaca de Hoyos *et al.* (2009), los resultados demuestran que un tratamiento de nitrato de amonio a 50% da mayor número de hojas y menos área foliar que tratamientos con dosis de 100% y 150% que presentan mayor valor de área foliar y valores intermedios de número de hojas.

4.1.5. Concentración de nitratos en hoja.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo, tratamiento y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de nitratos en hojas.

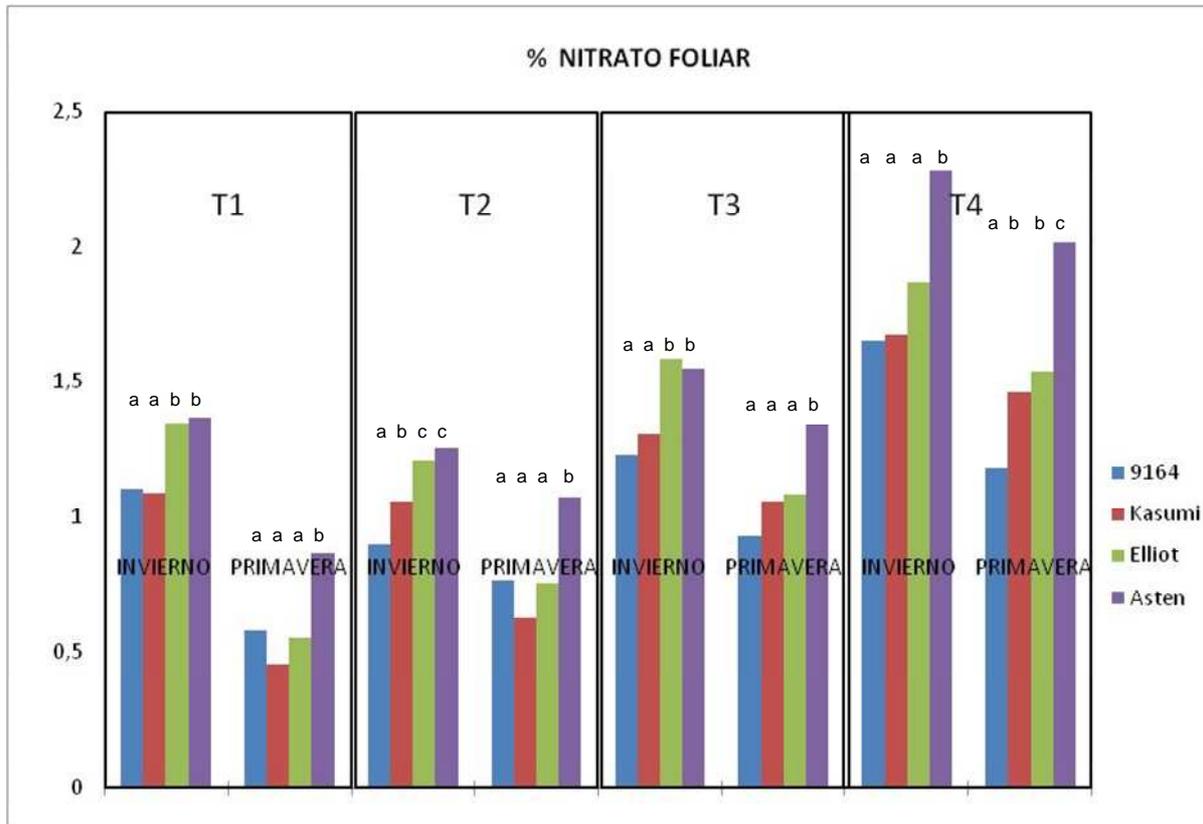
Tabla 11. Resultados de la concentración de nitratos media y varianza expresados en tanto por ciento.

Var.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	1,10±0,11 b	0,58±0,11 a	1,08±0,12 a	0,45±0,03 a	1,34±0,04 a	0,55±0,13 a	1,36±0,06 a	0,86±0,15 a
T2	0,90±0,03 a	0,76±0,03 ab	1,05±0,08 a	0,63±0,04 b	1,20±0,07 a	0,75±0,09 a	1,25±0,06 a	1,07±0,11 a
T3	1,23±0,14 b	0,92±0,03 b	1,30±0,10 b	1,05±0,15 c	1,58±0,11 b	1,08±0,07 b	1,54±0,03 b	1,34±0,07 b
T4	1,65±0,10 c	1,18±0,18 c	1,67±0,12 c	1,45±0,09 d	1,86±0,09 c	1,53±0,15 c	2,28±0,15 c	2,01±0,13 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 11 se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que demuestra su influencia en la concentración de nitrato foliar de las plántulas.

Gráfico 7. Concentración foliar de nitratos de la distintas variedades expresada en tanto por ciento, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 7 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre algunas variedades, según que ensayo y tratamiento, para la concentración de nitrato foliar.

La variedad Asten demuestra ser la que mayor concentración de nitratos almacena en sus tejidos en todos los casos, existiendo diferencias estadísticamente significativas con el resto de variedades sobre todo en el ensayo de primavera; le sigue la variedad Elliot que alcanza su máximo en invierno, tratamiento 4; y por último, Kasumi y 9164, en orden decreciente, tienen el máximo nivel en invierno, tratamiento 4.

Para las cuatro variedades, los niveles más altos se dan en el ensayo de invierno, tratamiento 4 ($12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$).

Un trabajo llevado a cabo por Sallaku *et al.* (2009), en el que se estudia el efecto de distintas concentraciones de nitrógeno sobre el reparto de la materia seca en plántulas de tomate, pimiento y berenjena, muestra como al aumentar la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva, se produce un aumento en la concentración foliar de N en plántulas.

Romero (1998), en su trabajo con lechuga concluye, coincidiendo con el presente proyecto, que en todos los tratamientos, es en invierno cuando mayores niveles de nitratos encontramos en las hojas y que, a medida que incrementamos la concentración de nitratos en la solución nutritiva, se produce un aumento en la concentración foliar de los mismos en plántulas. Así lo confirman también ensayos como el llevado a cabo por Rincón *et al.* (2002), con lechuga “Iceberg”, y con brócoli, por Hernández (2001).

Esto puede explicarse por el hecho de que en algunas especies de plantas hortícolas de aprovechamiento foliar, como es el caso de la col china, la intensidad luminosa es el factor que influye de forma más significativa en la acumulación de nitratos en planta, de forma que a mayor luminosidad la acumulación de nitratos disminuye independientemente de la fertilización nitrogenada llevada a cabo (Merino y Ansorena, 1993).

Así, en ciclos de cultivo con baja radiación global (cultivos de invierno), la actividad de la enzima nitrato reductasa es baja, dando lugar a elevadas concentraciones de nitrato en planta. Por el contrario, en ciclos de cultivo con alta radiación global (cultivos de primavera), la actividad de la nitrato reductasa es alta, disminuyendo la concentración nitratos en hojas.

4.2. Eficiencia en el uso de nitratos.

Para saber que variedad ha sido la más eficiente en el uso de nitratos, calculamos la relación que hay entre la biomasa seca total (Bst) y la cantidad de nitratos aportada en el abonado en unidades de masa.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre NUE, obteniéndose niveles más altos en el ensayo de primavera.

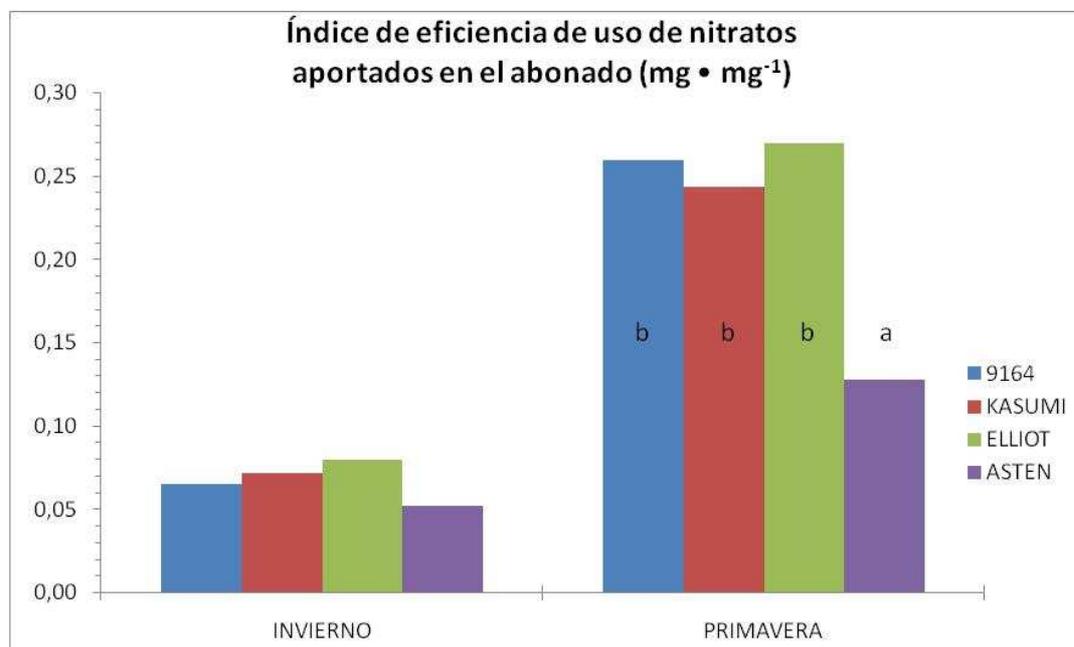
Tabla 12. Resultados de media y varianza de NUE, expresados en mg (Bst) • mg⁻¹ (NO₃).

Variedad Ensayo	9164	KASUMI	ELLIOT	ASTEN
Invierno	0,066±0,018 a	0,072±0,034 a	0,080±0,021 a	0,053±0,012 a
Primavera	0,260±0,089 b	0,244±0,071 b	0,270±0,078 b	0,128±0,036 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre ensayos para cada variedad, para un 95 % de confianza (p<0,05) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 12 se observan diferencias estadísticamente significativas entre ensayos, lo que demuestra la influencia de la época de siembra en este índice.

Gráfico 8. Eficiencia de uso de nitratos de las distintas variedades, en ensayos de invierno y primavera, expresada en $\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{l}$.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades en cada ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 8 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre algunas variedades. Así, en el ensayo de invierno se obtienen valores inferiores a los de primavera.

Es la variedad Elliot la que presenta mayor eficiencia en los dos ensayos, aunque en primavera no hay diferencias estadísticamente significativas entre ésta y las variedades 9164 y Kasumi. La variedad menos eficiente en ambos ensayos es Asten.

Según Sallaku *et al.* (2009), NUE aumenta cuando aumentan el tamaño del sistema radicular y LAI. En nuestro caso, comprobamos también este efecto si comparamos los resultados de NUE en invierno y primavera con PSA-PSR y LAI. Las conclusiones obtenidas por Romero (1998), difieren de las obtenidas en el presente trabajo en que, de las variedades de lechuga probadas, algunas mostraron mayor eficiencia en invierno que en primavera. También Hernández (2001) encuentra diferencias estadísticamente significativas de NUE entre variedades de brócoli, pero no entre épocas de siembra.

4.3. Índices de calidad

Se obtienen relacionando los parámetros físicos que se han determinado por medición directa.

4.3.1. Relación Peso seco - Peso fresco.

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo, tratamiento y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la relación peso seco - peso fresco.

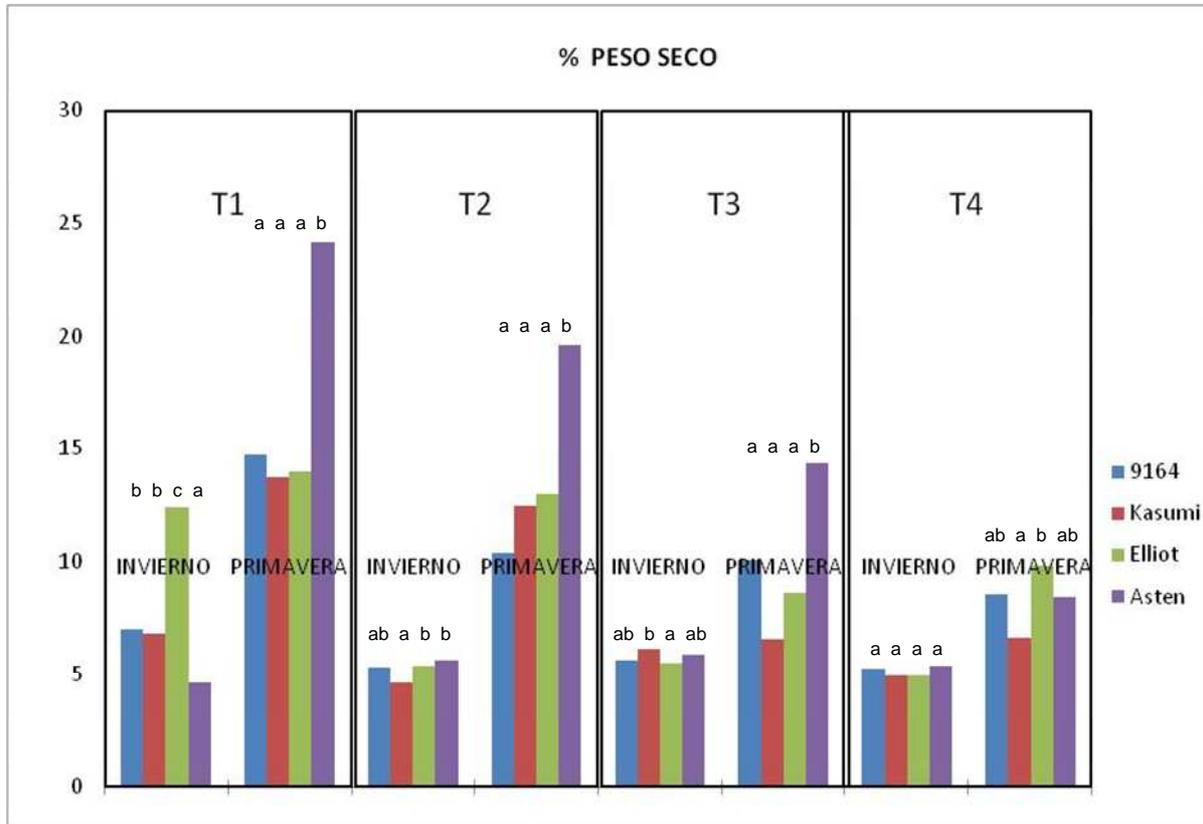
Tabla 13. Resultados de media y varianza de la relación peso seco / peso fresco, expresados en porcentaje de peso seco.

Var. Trat.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	6,90±0,19 c	14,69±0,38 b	6,74±0,23 b	13,72±2,50 b	12,37±1,47 b	13,94±2,27 c	4,59±0,70 a	24,12±6,33 c
T2	5,27±0,16 a	10,36±1,82 a	4,59±0,67 a	12,44±0,27 b	5,30±0,12 a	12,95±0,74 bc	5,55±0,24 b	19,57±2,69 bc
T3	5,58±0,13 b	10,02±1,59 a	6,04±0,24 b	6,52±0,48 a	5,46±0,34 a	8,58±2,68 a	5,82±0,23 b	14,34±3,33 ab
T4	5,21±0,12 a	8,49±0,32 a	4,91±0,09 a	6,54±0,53 a	4,88±0,69 a	9,77±2,22 ab	5,34±0,07 b	8,39±0,73 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 13 se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que demuestra su influencia en este índice.

Gráfico 9. Relación peso seco - peso fresco de la distintas variedades, expresada en porcentaje de peso seco, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 9 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre algunas variedades, según que ensayo y tratamiento, para la proporción de biomasa seca.

En el ensayo de primavera vemos que a menor concentración de nitratos en el abonado, mayor cantidad relativa de biomasa seca producen las plántulas de todas las variedades, siendo la variedad Asten la que muestra los niveles más altos, como viene a confirmar el test LSD, que delata diferencias estadísticamente significativas entre esta variedad y las restantes. Le siguen en orden decreciente, aunque sin diferencias estadísticamente significativas entre ellas; 9164, Elliot y Kasumi, con máximos en primavera, tratamiento 1.

Para las cuatro variedades, los niveles más altos se dan en el ensayo de primavera, tratamiento 1 ($2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$).

Las conclusiones obtenidas por Hernández (2001), con brócoli, Romero (1998), con lechuga, y De Grazia *et al.* (2011), en tomate, coinciden con las nuestras en la relación negativa que hay entre el aumento de este parámetro con concentración de nitratos de la solución nutritiva.

4.3.2. Relación peso seco aéreo - peso seco radical (PSA-PSR).

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo, tratamiento y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre este índice.

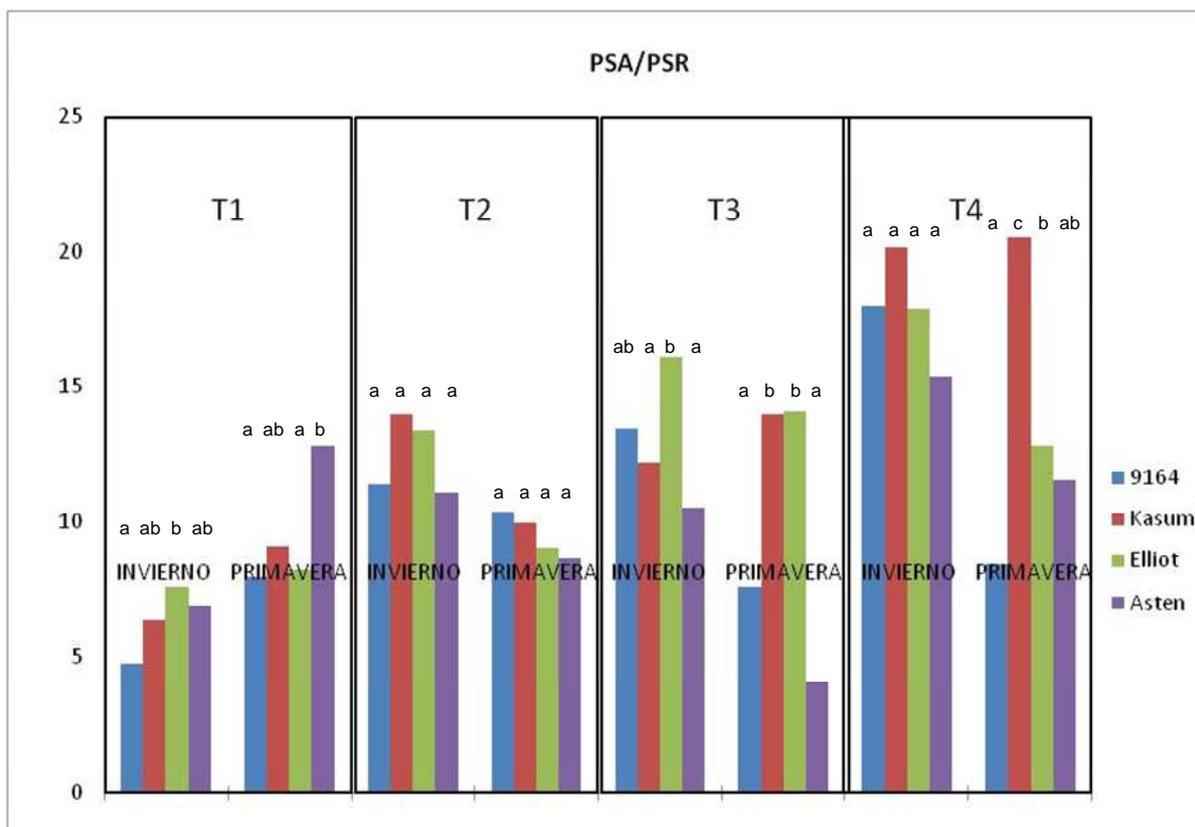
Tabla 14. Resultados de media y varianza de la relación PSA-PSR expresados en gramos de biomasa seca aérea por gramo de biomasa seca radical.

Var. Trat.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	4,7±1,2 a	8,0±2,2 a	6,4±0,5 a	9,1±1,3 a	7,6±0,9 a	8,2±0,4 a	6,9± 1,8 a	12,8±3,4 b
T2	11,4±1,1 b	10,4±2,9 a	14,0±3,3 bc	10,0±0,9 ab	13,3±1,8 ab	9,0±0,7 a	11,0±2,6 b	8,6±2,9 ab
T3	13,5±0,6 bc	7,6±1,8 a	12,2±1,9 ab	14,0±3,7 b	16,1±3,1 b	14,1±0,7 c	10,5±1,6 ab	4,1±0,9 a
T4	17,9±6,4 c	8,4±2,1 a	20,1±5,8 c	20,5±1,7 c	17,9±6,3 b	12,8±0,7 b	15,4±2,0 c	11,6±3,5 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 14 se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que demuestra su influencia en este índice.

Gráfico 10. Relación Peso seco aéreo - Peso seco radical expresada en $g \cdot g^{-1}$ de la distintas variedades, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 10 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre algunas variedades, según que ensayo y tratamiento, para la relación biomasa seca aérea – biomasa seca radical.

Centrándonos en el ensayo de primavera, tratamiento 4, podemos comprobar que la variedad con mayor proporción de biomasa radicular es 9164; le siguen en orden decreciente Asten, Elliot y Kasumi, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Para todas las variedades, excepto Asten, los niveles más bajos se dan en el ensayo de invierno, tratamiento 1 ($2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$).

Según Guzmán *et al.* (2003), el acondicionamiento nutricional en semillero con niveles bajos de N y P mejora el equilibrio entre el vástago y la raíz. Por tanto, es recomendable que este índice de calidad de la biomasa tenga valores bajos.

Podemos ver que esta afirmación se cumple en el caso de la col china, pues con niveles de nitrato en abonado más bajos (2, 4 y 8 mmol de $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$) hay un mejor equilibrio entre las partes aérea y radical.

La misma conclusión se obtiene en trabajos con plántula de pimiento chile (García *et al.*, 2011), pimiento dulce, tomate y berenjena (Sallaku *et al.* 2009), en mini-sandía (Colla *et al.*, 2011), lechuga y brócoli, anteriormente citados.

4.3.3. Área foliar específica (SLA).

El análisis de la varianza mediante ANOVA multifactorial indica que los factores ensayo y variedad tienen un efecto estadísticamente significativo sobre este índice, obteniéndose niveles más altos en el ensayo de invierno.

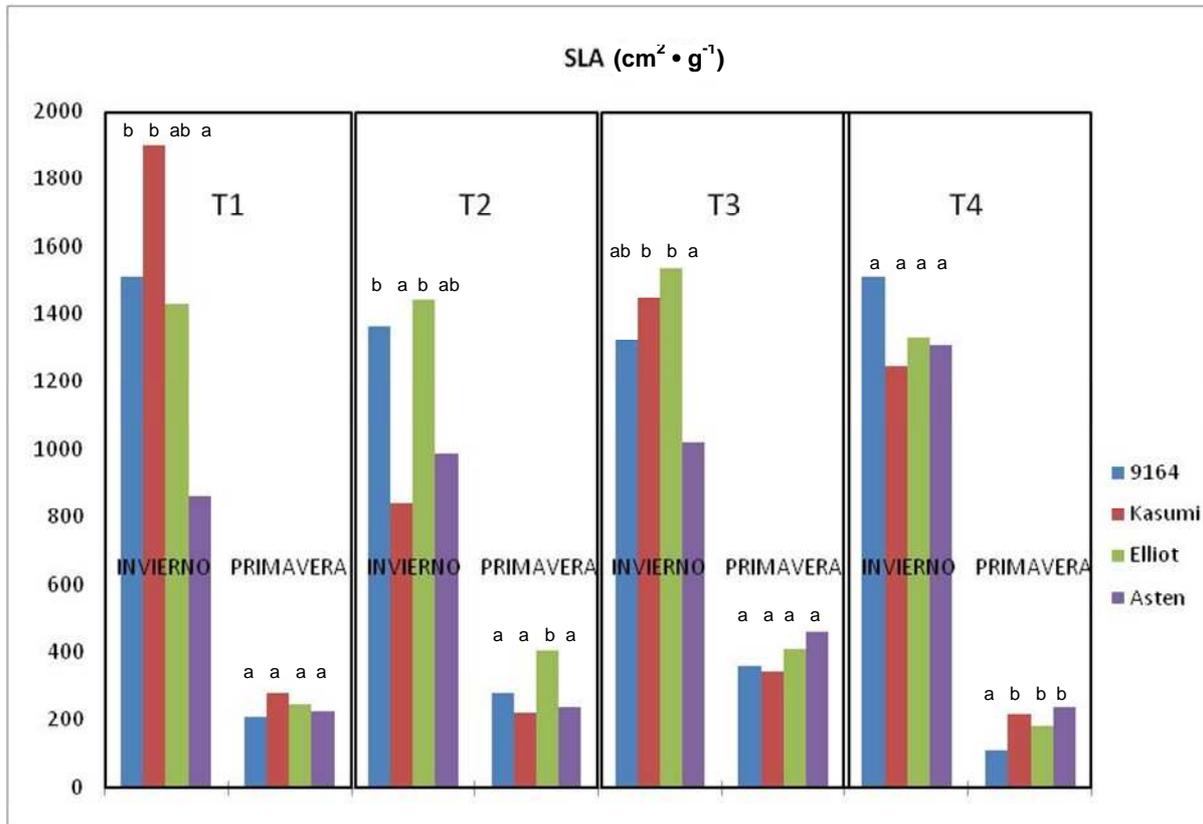
Tabla 15. Resultados de media y varianza del área foliar específica expresados en $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$.

Var. Trat.	9164		KASUMI		ELLIOT		ASTEN	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
T1	1510,9±382,3 a	208,3±23,4 ab	1898,5±132,5 c	277,4±28,8 b	1429,0±216,7 a	245,3±58,5 a	861,0±433,1 a	223,6±75,6 a
T2	1363,0±47,3 a	277,5±76,5 bc	839,6±235,5 a	219,5±0,9 ab	1440,3±133,3 a	403,8±63,5 b	987,1±445,0 a	237,5±33,8 a
T3	1321,3±179,5 a	359,3±108,7 c	1447,2±134,2 b	342,3±43,7 c	1532,7±268,3 a	407,5±63,7 b	1021,0±257,9 a	459,7±254,5 a
T4	1511,3±336,4 a	109,4±24,9 a	1244,5±155,3 b	214,7±40,2 a	1331,8±56,0 a	179,0±48,3 a	1304,3±24,1 a	238,3±21,2 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de una misma variedad y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 15 se observan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la variedad 9164 en el ensayo de primavera, Kasumi en ambos ensayos y Elliot de primavera. Para las cuatro variedades, los niveles más bajos se dan en el ensayo de primavera tratamiento 4 (2 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), excepto la variedad Asten que muestra niveles similares entre los tratamientos 1, 2 y 4.

Gráfico 11. Área foliar específica de la distintas variedades expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($\text{T1} = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $\text{T2} = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $\text{T3} = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $\text{T4} = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Distintas letras expresan diferencias significativas entre variedades para cada tratamiento y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En el gráfico 11 vemos que el test LSD muestra diferencias significativas entre algunas variedades, según que ensayo y tratamiento, para este índice.

La variedad 9164 del tratamiento 4 en el ensayo de primavera, es la que muestra los niveles más bajos; el test LSD delata diferencias estadísticamente significativas entre esta variedad y las otras tres. En orden creciente le siguen la variedad Elliot, Kasumi y Asten.

Reducciones en la concentración de N aportado en plántulas hortícolas de semillero, incrementan SLA más de un 10% y la tasa de área foliar (LAR) hasta en un 7% (Muñoz Ramos, 2002). Esto se confirma comparando los tratamientos 1 y 4; por un lado, en el ensayo de primavera, que se da en todas las variedades, y por otro lado, en el ensayo de invierno con las variedades Kasumi y Elliot.

En trabajos realizados con plántula de pimiento, tomate y berenjena (Sallaku *et al.* 2009), y en lechuga y brócoli, ya citados, se observa el mismo comportamiento.

Es recomendable que este índice de calidad foliar tenga valores bajos, lo que implica valores de biomasa seca total altos en relación a la superficie foliar. Según Masson *et al.* (1991), las plántulas que presentan valores inferiores de SLA resisten mejor el trasplante.

4.4. Análisis de crecimiento.

Para cada parámetro de crecimiento, se exponen en primer lugar los resultados obtenidos para las cuatro variedades, y después se discuten éstos.

4.4.1. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca total (Vcb).

Se han empleado gráficos logarítmicos en base 10 para una correcta visualización, pues la velocidad de crecimiento de las plántulas del ensayo de primavera sometidas al tratamiento 4, es bastante mayor que la de los demás tratamientos.

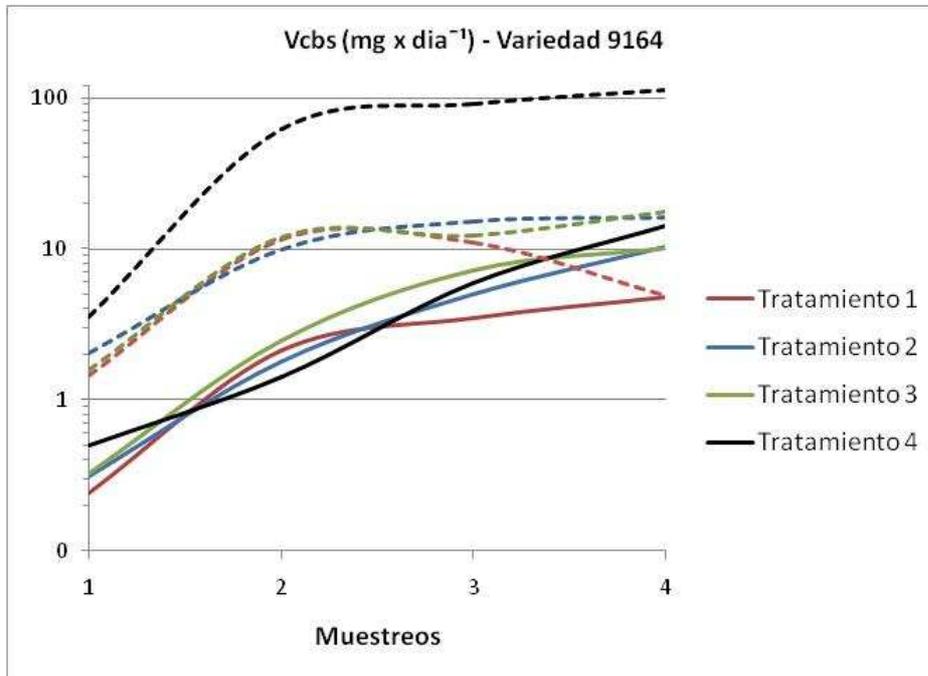
Tabla 16. Vcb media de la variedad 9164 expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,243±0,004 a	0,314±0,007 b	0,326±0,015 b	0,503±0,016 c
		Primavera	1,443±0,235 a	2,020±0,188 a	1,565±0,543 a	3,579±0,568 b
	M2	Invierno	2,109±0,104 ab	1,796±0,167 ab	2,498±0,915 b	1,428±0,445 a
		Primavera	11,531±1,921 a	9,944±1,163 a	11,913±1,383 a	61,433±6,261 b
	M3	Invierno	3,495±0,178 a	4,962±0,759 ab	7,256±1,793 c	5,951±0,483 bc
		Primavera	10,951±2,608 a	15,122±3,607 a	12,229±3,099 a	90,730±8,447 b
	M4	Invierno	4,799±0,510 a	10,321±2,138 b	10,013±3,159 b	14,248±1,472 b
		Primavera	4,900±1,012 a	16,002±2,296 a	17,480±3,550 a	111,852±23,017 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 16 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en Vcb.

Gráfico 12. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca total de la variedad 9164, expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

En el gráfico 12 vemos que en el muestreo 1, en el ensayo de primavera, la velocidad con la que las plántulas crean biomasa es mayor que en el ensayo de invierno, y esto se mantiene así durante todo el ensayo. Se observa que entre el muestreo 2 y 3 se suaviza la pendiente en todos los tratamientos y en ambos ensayos. Esta ralentización del crecimiento de la biomasa se hasta el último muestreo.

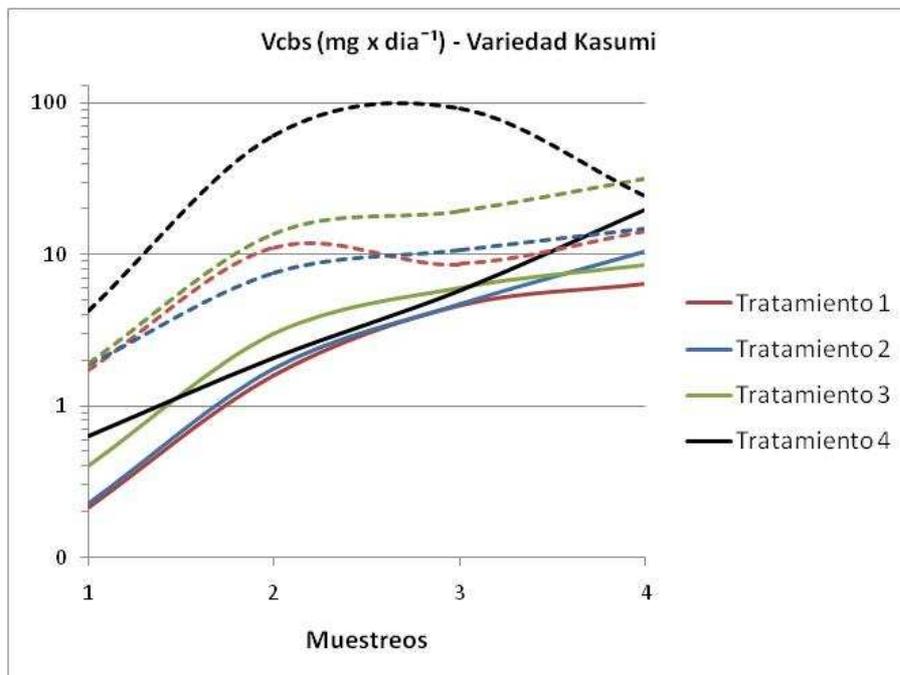
Tabla 17. Vcb media de la variedad Kasumi expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,214±0,002 a	0,229±0,016 a	0,408±0,029 b	0,631±0,038 c
		Primavera	1,713±0,258 a	1,880±0,104 a	1,922±0,449 a	4,217±0,632 b
	M2	Invierno	1,585±0,153 a	1,763±0,274 a	2,979±0,850 a	2,096±0,438 a
		Primavera	11,138±2,425 a	7,539±1,650 a	13,693±0,996 a	61,595±8,033 b
	M3	Invierno	4,581±0,737 a	4,701±0,927 a	6,094±1,088 a	5,840±1,052 a
		Primavera	8,639±1,463 a	10,612±1,432 a	19,240±2,987 a	91,882±10,359 b
	M4	Invierno	6,446±1,001 a	10,503±1,885 a	8,540±0,737 a	19,925±3,432 b
		Primavera	14,381±2,085 a	14,790±1,898 a	31,704±5,499 b	24,126±4,308 ab

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como muestra la tabla 17, hay diferencias entre el grupo homogéneo de los tratamientos 1, 2, 3, y el tratamiento 4.

Gráfico 13. Velocidad de crecimiento medio de biomasa seca total de la variedad Kasumi, expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Vemos en el gráfico 13 como en el muestreo 1, en el ensayo de primavera, la velocidad con la que las plántulas crean biomasa es mayor que en el ensayo de invierno, situación que se mantiene así durante todo el ensayo. Se observa que entre el muestreo 2 y 3 se suaviza la pendiente en todos los tratamientos y en ambos ensayos.

Esta disminución de la tasa de crecimiento de la biomasa seca se mantiene hasta el último muestreo, y en el caso del tratamiento 4 de primavera, incluso desciende; con la excepción del tratamiento 4 en el ensayo de invierno, que mantiene una tendencia a aumentar casi linealmente durante todo el ensayo.

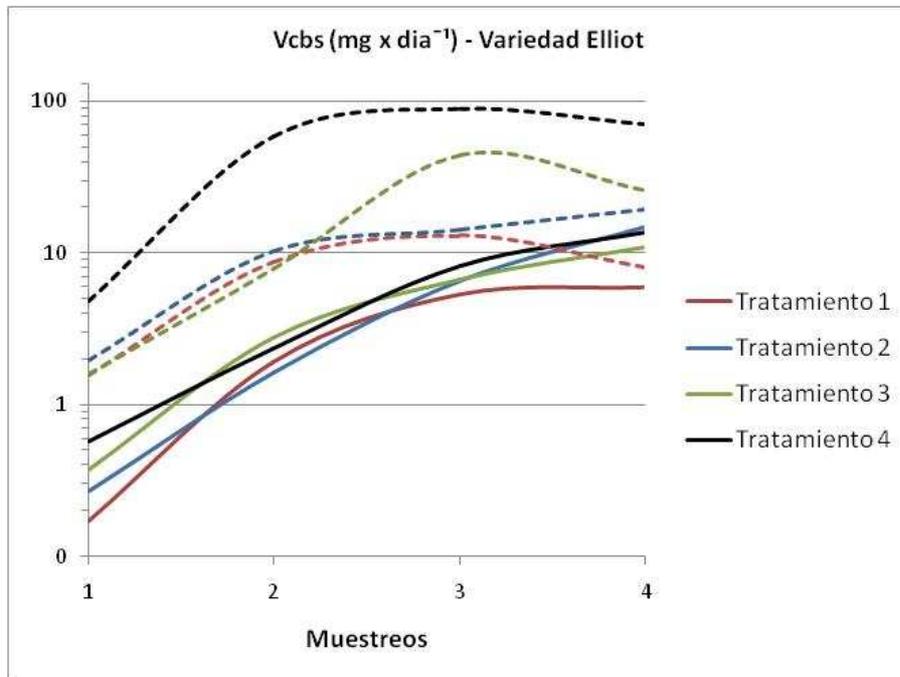
Tabla 18. Vcb media de la variedad Elliot expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,171±0,006 a	0,269±0,014 b	0,371±0,009 c	0,571±0,017 d
		Primavera	1,553±0,155 a	1,964±0,212 a	1,593±0,058 a	4,798±0,751 b
	M2	Invierno	1,934±0,232 ab	1,626±0,192 a	2,788±0,402 c	2,363±0,147 bc
		Primavera	8,745±1,915 a	10,238±2,157 a	7,825±1,683 a	58,781±14,352 b
	M3	Invierno	5,314±0,398 a	6,534±0,351 ab	6,748±0,933 ab	8,221±0,404 b
		Primavera	13,026±2,078 a	14,187±2,144 a	44,210±9,898 b	88,908±19,059 c
	M4	Invierno	5,935±0,134 a	14,953±2,029 b	10,999±1,607 ab	13,760±1,430 b
		Primavera	7,959±1,349 a	19,478±4,868 a	25,890±6,895 a	70,674±10,347 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 18 se ven diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica una notable influencia de la concentración de nitratos aplicada en el abonado sobre la tasa de crecimiento de biomasa.

Gráfico 14. Velocidad de crecimiento medio de biomasa seca total de la variedad Elliot, expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Vemos como en el gráfico 14, en el muestreo 1 del ensayo de primavera, la velocidad con la que las plántulas crean biomasa es mayor que en el ensayo de invierno, y esto se mantiene así durante todo el ensayo. Se observa que entre el muestreo 2 y 3 se suaviza la pendiente en todos los tratamientos y en ambos ensayos. Esta ralentización del crecimiento de la biomasa se mantiene hasta el último muestreo.

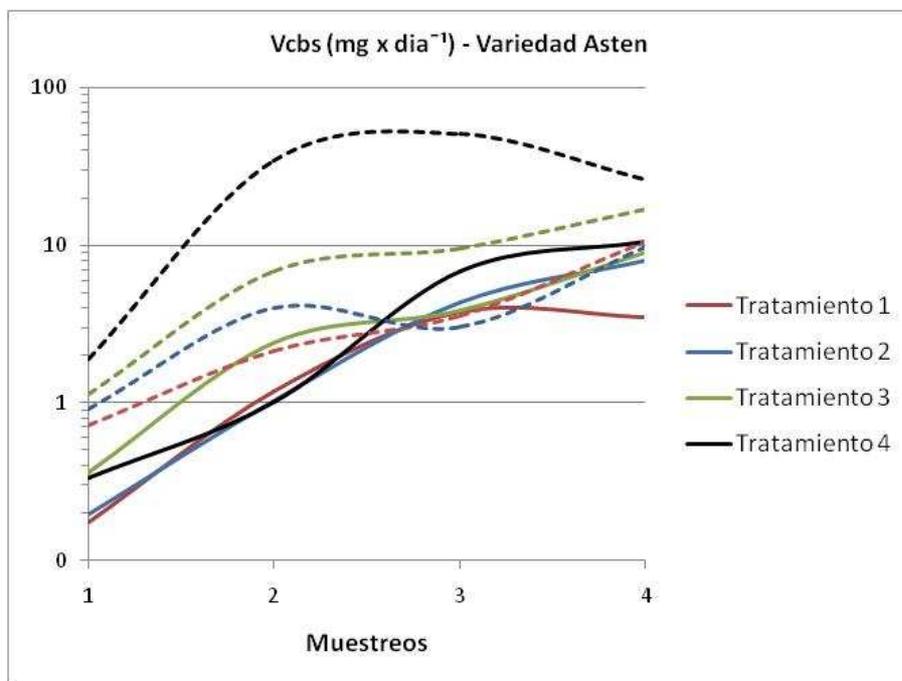
Tabla 19. Vcb media de la variedad Asten expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,176±0,009 a	0,198±0,014 a	0,362±0,024 b	0,335±0,021 b
		Primavera	0,717±0,170 a	0,908±0,179 a	1,148±0,150 a	1,899±0,398 b
	M2	Invierno	1,188±0,170 a	1,038±0,128 a	2,403±0,185 b	1,005±0,163 a
		Primavera	2,140±0,245 a	3,996±0,105 ab	6,836±1,126 b	34,498±1,646 c
	M3	Invierno	3,794±0,175 a	4,336±0,107 a	3,833±0,379 a	6,875±1,118 b
		Primavera	3,549±1,054 a	3,025±0,833 a	9,536±2,479 b	50,709±4,745 c
	M4	Invierno	3,524±1,041 a	8,004±1,520 b	9,099±1,323 b	10,625±3,055 b
		Primavera	10,475±2,430 a	9,851±2,422 a	16,813±4,052 ab	26,376±6,444 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como podemos ver en la tabla 19, hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, delatando así la influencia que ejerce sobre la tasa de crecimiento de biomasa el factor de la concentración de nitratos de la solución nutritiva.

Gráfico 15. Velocidad de crecimiento medio de la biomasa seca total de la variedad Asten, expresada en $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 15 muestra como en el muestreo 1, ensayo de primavera, la velocidad con la que las plántulas crean biomasa es mayor que en el ensayo de invierno, y esto se mantiene así durante todo el ensayo.

Se observa que entre el muestreo 2 y 3 se suaviza la pendiente en todos los tratamientos y en ambos ensayos. Esta ralentización del crecimiento de la biomasa se mantiene desde el tercero hasta el último muestreo, excepto en el caso del tratamiento 4 en el ensayo de primavera, que después de esta disminución, a partir del muestreo 3 vuelve a aumentar.

DISCUSIÓN:

Queda patente que concentraciones crecientes de nitratos incrementan la tasa de crecimiento de biomasa seca. Esto difiere de los resultados obtenidos en plántulas de pimiento por De Grazia *et al.* (2011), donde Vcbs no presentaba diferencias significativas con el incremento de nitrógeno en el medio de crecimiento.

Por otro lado, el hecho de que este parámetro llegue a estabilizarse a partir del muestreo 3 en la mayoría de los casos e independientemente del tratamiento, la variedad y el ensayo, nos hace pensar que está cerca el momento del trasplante, pues durante la fase de plántula, según Lallana *et al.* (2004), la curva del crecimiento se muestra exponencial, con lo que la tasa de crecimiento de biomasa media, que viene a ser la pendiente de la tangente a esta curva en cada intervalo de tiempo (un día, en nuestro caso), aumentará progresivamente; cuando se estabiliza parece indicar que la plántula está entrando en la fase de crecimiento lineal, y conviene trasplantar antes que disminuya.

Este comportamiento también puede deberse, al menos en parte, como ocurre en pepino, según Laguna (2012), y podría estar relacionado con el sombreado entre plántulas, que según Mengel *et al.* (2006), puede ser un factor limitante en el crecimiento y desarrollo de las mismas, aunque se apliquen niveles altos de nitrógeno.

4.4.2. Tasa de peso foliar (LWR).

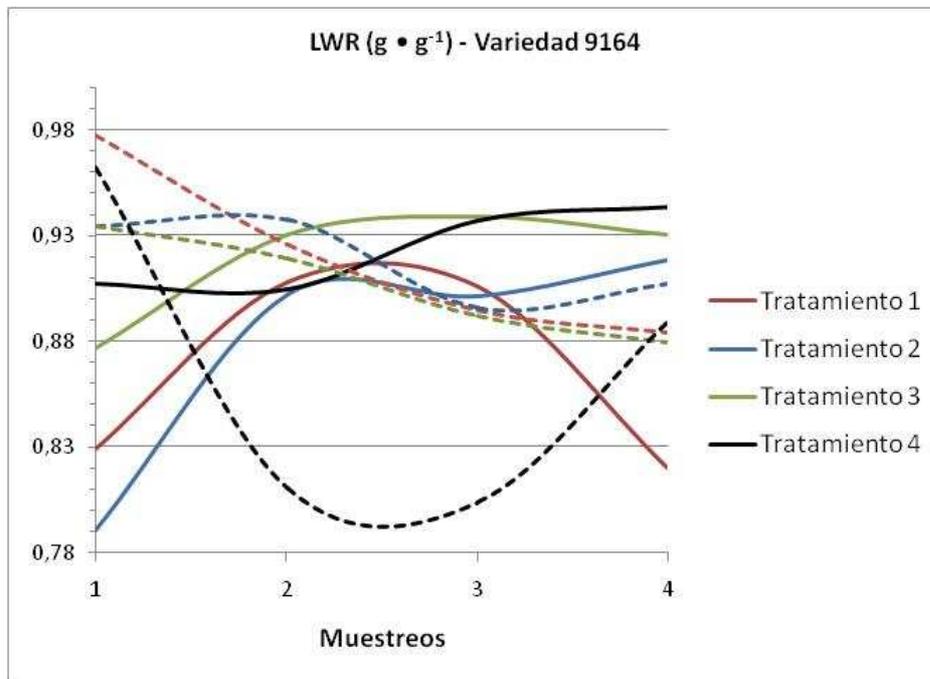
Tabla 20. LWR media de la variedad 9164 expresada en $g \cdot g^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,829±0,015 b	0,790±0,003 a	0,877±0,009 c	0,907±0,002 d
		Primavera	0,977±0,010 b	0,935±0,012 a	0,934±0,026 a	0,962±0,009 ab
	M2	Invierno	0,908±0,014 a	0,902±0,016 a	0,930±0,005 a	0,905±0,022 a
		Primavera	0,926±0,009 b	0,938±0,022 b	0,920±0,016 b	0,811±0,028 a
	M3	Invierno	0,906±0,007 a	0,901±0,016 a	0,939±0,006 b	0,937±0,006 b
		Primavera	0,895±0,014 a	0,896±0,023 a	0,892±0,012 a	0,804±0,030 b
	M4	Invierno	0,820±0,039 a	0,919±0,007 b	0,931±0,003 b	0,943±0,017 b
		Primavera	0,884±0,025 a	0,907±0,026 a	0,879±0,027 a	0,889±0,028 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 20 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en LWR.

Gráfico 16. Tasa de peso foliar de la variedad 9164 expresada en $g \cdot g^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Si nos fijamos en el gráfico 16, en el primer muestreo de primavera, la tasa de peso foliar es mayor que en el ensayo de invierno. Este hecho se invierte en los siguientes muestreos y, a excepción del tratamiento 1, las plántulas del ensayo de primavera aumentan la producción de raíces en detrimento de la tasa de producción de biomasa foliar, situándose este índice en el último muestreo por debajo del nivel alcanzado en el ensayo de invierno.

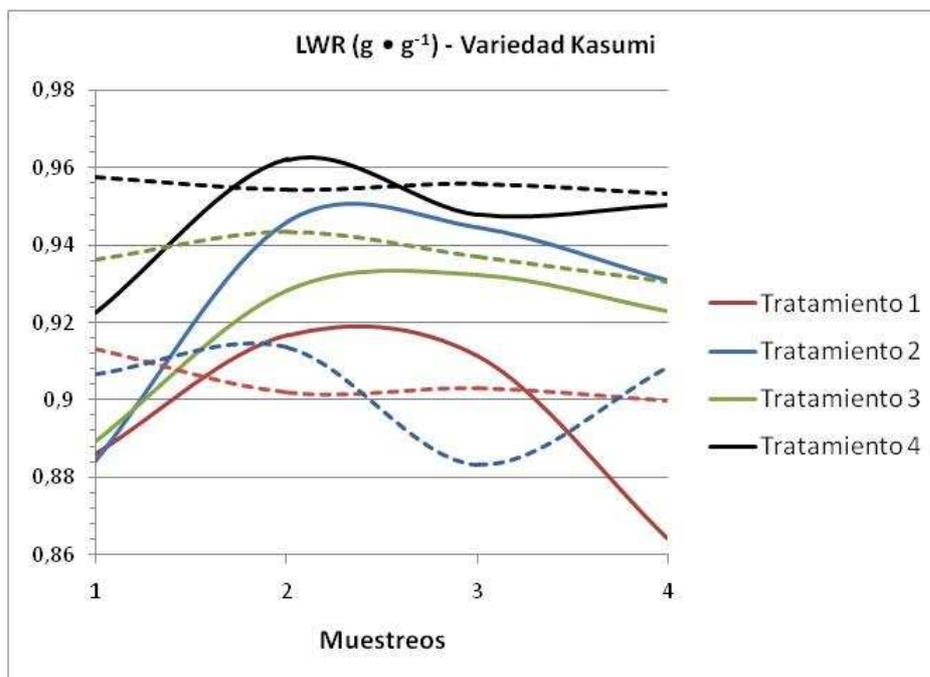
Tabla 21. LWR media de la variedad Kasumi expresada en $g \cdot g^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,886±0,010 a	0,884±0,004 a	0,889±0,006 a	0,922±0,007 b
		Primavera	0,913±0,031 a	0,907±0,029 a	0,936±0,007 ab	0,958±0,003 b
	M2	Invierno	0,917±0,009 a	0,946±0,013 bc	0,928±0,021 ab	0,962±0,014 c
		Primavera	0,902±0,005 a	0,914±0,007 a	0,943±0,010 a	0,954±0,118 a
	M3	Invierno	0,911±0,016 a	0,945±0,005 b	0,932±0,009 b	0,948±0,002 b
		Primavera	0,903±0,008 a	0,883±0,019 a	0,937±0,014 a	0,958±0,127 a
	M4	Invierno	0,864±0,009 a	0,931±0,016 bc	0,923±0,011 b	0,950±0,012 c
		Primavera	0,900±0,013 a	0,908±0,006 a	0,930±0,017 b	0,953±0,003 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como muestra la tabla 21, hay diferencias entre tratamientos con lo que podemos afirmar que la concentración de nitratos aplicada influye en el reparto de biomasa entre la raíz y la parte aérea.

Gráfico 17. Tasa de peso foliar de la variedad Kasumi expresada en $g \cdot g^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Según observamos en el gráfico 17, en el primer muestreo del ensayo de primavera, la tasa de peso foliar es mayor que en el ensayo de invierno.

A partir de ahí, en el ensayo de primavera, este índice sufre pocas variaciones hasta el muestreo final. En el ensayo de invierno y hasta el muestreo 2, hay una tendencia casi lineal de aumento en la tasa de peso foliar; en los dos muestreos siguientes vemos que esta tendencia se detiene y va descendiendo suavemente en el caso de los tratamientos 2, 3 y 4, y de forma más acusada en el tratamiento 1.

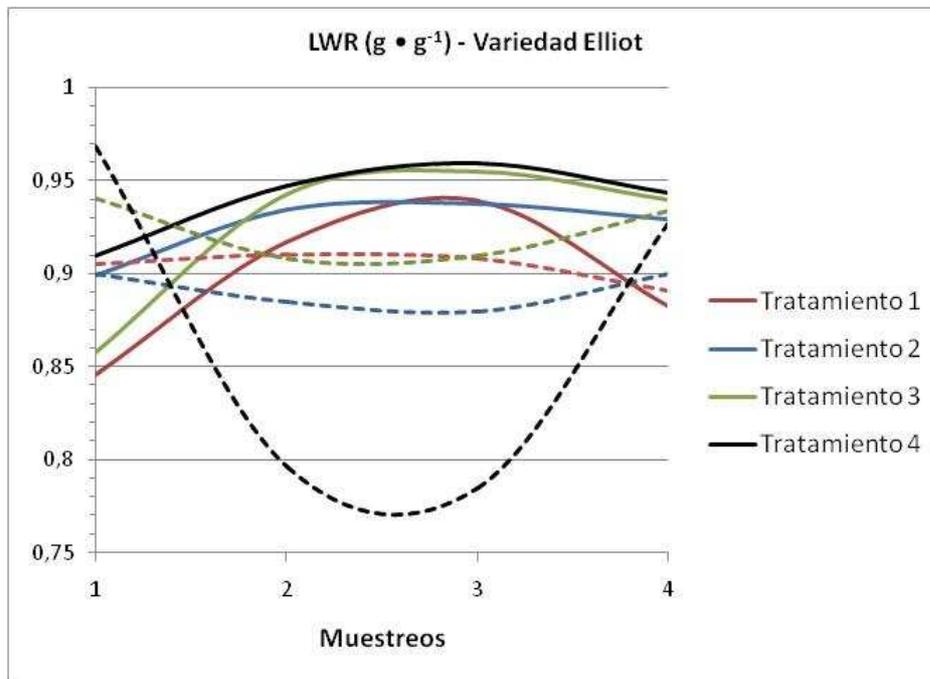
Tabla 22. LWR media de la variedad Elliot expresada en $g \cdot g^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,846±0,012 a	0,899±0,006 b	0,857±0,007 a	0,910±0,004 b
		Primavera	0,905±0,005 a	0,900±0,007 a	0,940±0,005 b	0,968±0,003 c
	M2	Invierno	0,917±0,004 a	0,934±0,010 b	0,943±0,002 bc	0,948±0,005 c
		Primavera	0,911±0,031 b	0,928±0,024 b	0,908±0,061 b	0,796±0,065 a
	M3	Invierno	0,939±0,002 a	0,938±0,007 a	0,955±0,006 b	0,959±0,004 b
		Primavera	0,908±0,005 b	0,880±0,019 b	0,937±0,020 b	0,784±0,071 a
	M4	Invierno	0,883±0,012 a	0,930±0,008 b	0,940±0,009 b	0,943±0,017 b
		Primavera	0,891±0,005 a	0,900±0,006 a	0,934±0,003 b	0,927±0,004 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 22 se ven diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica una notable influencia de la concentración de nitratos aplicada en el abonado sobre la tasa de crecimiento de biomasa seca foliar.

Gráfico 18. Tasa de peso foliar de la variedad Elliot expresada en $g \cdot g^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot l^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Vemos en el gráfico 18 que en el primer muestreo, ensayo de primavera, la tasa de peso foliar es mayor que en el ensayo de invierno. A partir de ahí, en el ensayo de primavera, este índice disminuye entre los muestreos 2 y 3 para volver a aumentar en el muestreo final, a excepción del tratamiento 1.

En el ensayo de invierno y hasta el muestreo 2, hay una tendencia casi lineal de aumento en la tasa de peso foliar; hasta el muestreo 3 vemos como se atenúa esta tendencia, y del muestreo 3 al 4 va descendiendo suavemente en el caso de los tratamientos 2, 3 y 4, y de forma más acusada en el tratamiento 1.

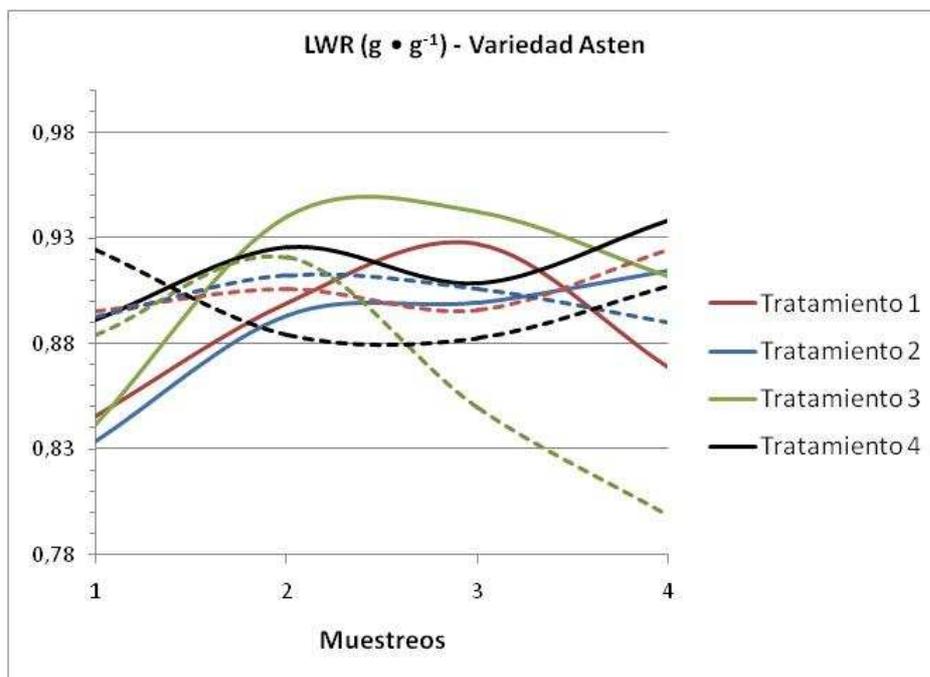
Tabla 23. LWR media de la variedad Asten expresada en $g \cdot g^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,846±0,013 a	0,834±0,023 a	0,842±0,009 a	0,892±0,004 b
		Primavera	0,896±0,044 a	0,893±0,029 a	0,884±0,026 a	0,925±0,041 a
	M2	Invierno	0,899±0,017 ab	0,894±0,009 a	0,941±0,016 c	0,926±0,014 bc
		Primavera	0,906±0,007 a	0,913±0,030 a	0,921±0,023 a	0,884±0,055 a
	M3	Invierno	0,927±0,002 c	0,900±0,002 a	0,943±0,008 d	0,909±0,003 b
		Primavera	0,896±0,008 a	0,906±0,008 a	0,850±0,067 a	0,882±0,054 a
	M4	Invierno	0,869±0,030 a	0,915±0,016 b	0,912±0,0136 b	0,938±0,009 b
		Primavera	0,925±0,018 b	0,890±0,028 b	0,799±0,038 a	0,907±0,038 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como podemos ver en la tabla 23, hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, delatando así la influencia que ejerce sobre la tasa de crecimiento de biomasa foliar el factor de la concentración de nitratos de la solución nutritiva.

Gráfico 19. Tasa de peso foliar de la variedad Asten expresada en $g \cdot g^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol $NO_3^- \cdot l^{-1}$; T2 = 4 mmol $NO_3^- \cdot l^{-1}$; T3 = 8 mmol $NO_3^- \cdot l^{-1}$; T4 = 12 mmol $NO_3^- \cdot l^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Si nos fijamos en el gráfico 19, en el primer muestreo, en el ensayo de primavera, la tasa de peso foliar es mayor que en el ensayo de invierno.

En el ensayo de primavera, los tratamientos 1 y 2 sufren pequeñas variaciones hasta el muestreo final; el tratamiento 3, tras ascender ligeramente hasta el muestreo 2, empieza a descender casi linealmente, aumentando la producción de raíces en detrimento de la producción de biomasa foliar hasta el último muestreo. En el tratamiento 4 vemos un comportamiento similar al de las otras variedades.

En el ensayo de invierno y hasta el muestreo 2, hay una tendencia casi lineal de aumento en la tasa de peso foliar; hasta el muestreo 3 vemos como se atenúa esta tendencia, y del muestreo 3 al 4 desciende suavemente en el caso del tratamiento 3, y de forma más acusada en el tratamiento 1.

DISCUSIÓN:

Si nos fijamos en los gráficos de las cuatro variedades, en común tienen el hecho de que el comportamiento de este parámetro es diferente entre invierno y primavera; en los primeros 10 días desde la siembra, las plántulas del ensayo de primavera destinan gran parte de su biomasa al desarrollo de la parte aérea para a partir de ahí, declinarse por el desarrollo radicular, y en condiciones de mayor disponibilidad de nitratos, entre los muestreos 3 y 4 vuelven a desplazar este equilibrio hacia el lado de la parte aérea.

Las plántulas del ensayo de invierno muestran una tendencia ligeramente ascendente a destinar más biomasa a las hojas, desde la emergencia hasta la semana comprendida entre los muestreos 2 y 3; para a partir de ahí esta tendencia cambia y se destinan más recursos a la creación de nueva biomasa radicular.

En definitiva, se obtiene mayor tasa de área foliar en el ensayo de primavera.

Por otro lado, hay que destacar que a mayor concentración de nitratos, en el caso de la col china, se obtienen máximos más altos de en la tasa de crecimiento de la biomasa seca foliar.

Resultados similares se obtienen en trabajos con pimiento, tomate y berenjena (Sallaku *et al.*, 2009), lechuga (Romero, 1998) y brócoli (Hernández, 2001); en pimiento chile, García (2011), afirma que los incrementos en la

concentración de nitratos no afectaron al crecimiento de la biomasa radical, y si repercutieron positivamente en la biomasa aérea.

4.4.3. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar (Vcaf).

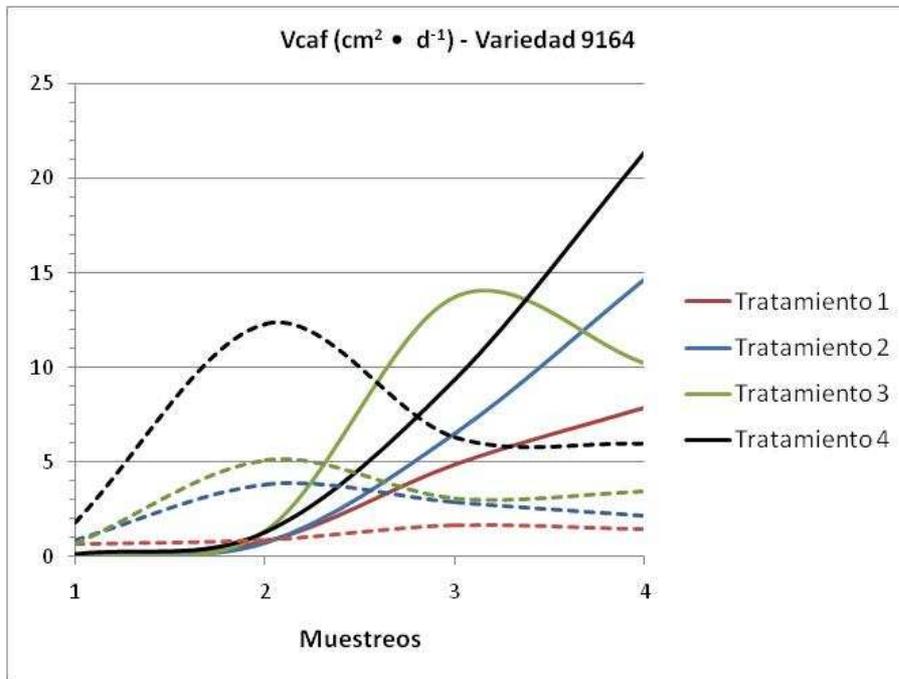
Tabla 24. Vcaf media de la variedad 9164 expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,052±0,003 a	0,062±0,005 a	0,080±0,036 a	0,129±0,011 b
		Primavera	0,658±0,092 a	0,867±0,157 a	0,629±0,095 a	1,789±0,404 b
	M2	Invierno	0,785±0,142 a	0,747±0,129 a	1,402±0,492 a	1,275±0,891 a
		Primavera	0,906±0,076 a	3,807±0,682 a	5,092±0,353 a	12,315±1,417 b
	M3	Invierno	4,864±0,399 a	6,540±1,026 a	13,760±1,365 c	9,355±2,070 b
		Primavera	1,632±0,020 a	2,868±0,42 a	3,065±1,265 a	6,328±1,520 b
	M4	Invierno	7,857±1,879 a	14,674±3,371 ab	10,259±2,012 a	21,342±5,571 b
		Primavera	1,425±0,389 a	2,153±0,416 a	3,464±0,910 ab	5,987±1,248 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 24 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en Vcaf.

Gráfico 20. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad 9164 expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

En el gráfico 20 vemos que el primer muestreo del ensayo de primavera, la velocidad de crecimiento del área foliar es mayor que en el ensayo de invierno.

Este hecho se invierte en los siguientes muestreos, y las plántulas del ensayo de primavera alcanzan su máximo en el muestreo 2 para luego descender; mientras, en el ensayo de invierno, a partir del muestreo 2 comienza a ascender casi linealmente situándose en el último muestreo por encima del nivel alcanzado en el ensayo de primavera.

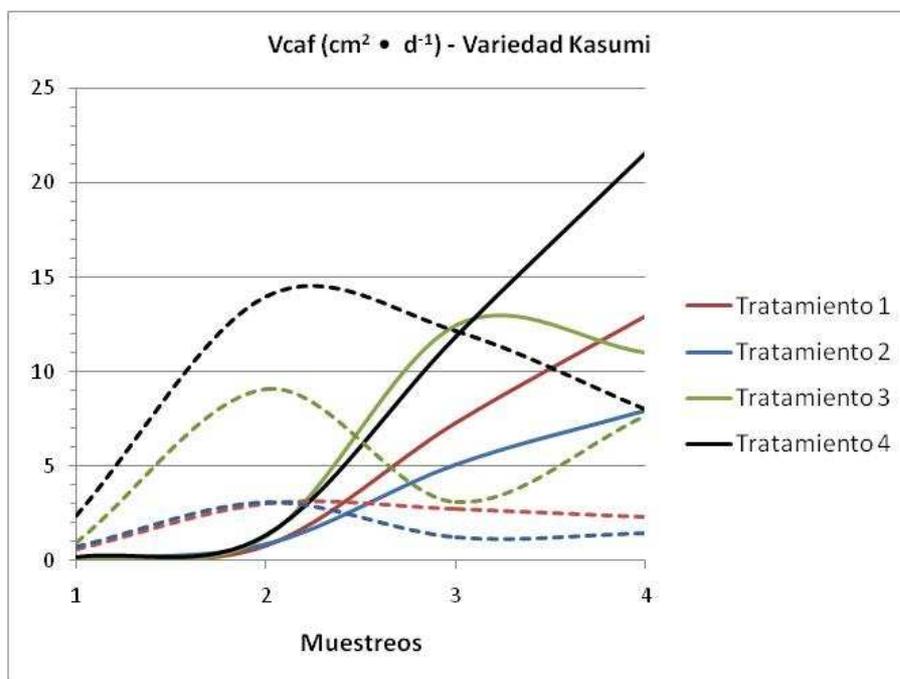
Tabla 25. Vcaf media de la variedad Kasumi expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,048±0,008 a	0,042±0,002 a	0,104±0,012 b	0,195±0,042 c
		Primavera	0,568±0,040 a	0,724±0,027 ab	0,936±0,258 b	2,339±0,256 c
	M2	Invierno	0,796±0,053 a	0,853±0,043 a	1,321±0,203 b	1,350±0,255 b
		Primavera	3,035±0,521 a	3,071±0,485 a	9,076±1,561 b	14,013±2,140 c
	M3	Invierno	7,329±1,256 a	5,118±0,883 a	12,467±0,837 b	11,845±1,915 b
		Primavera	2,715±0,090 a	1,215±0,088 a	3,078±0,178 a	12,165±0,350 b
	M4	Invierno	12,970±1,334 ab	7,967±1,105 a	11,004±1,960 ab	21,550±2,203 b
		Primavera	2,278±0,375 a	1,417±0,022 a	7,672±1,213 b	8,017±0,662 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como podemos ver en la tabla 25, hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, delatando así la influencia que ejerce sobre la tasa de crecimiento de superficie foliar el factor de la concentración de nitratos de la solución nutritiva.

Gráfico 21. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad Kasumi expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Vemos en el gráfico 21 que en el primer muestreo, ensayo de primavera, la velocidad de crecimiento del área foliar es mayor que en el ensayo de invierno. En los siguientes muestreos la situación cambia, y mientras en las plántulas del ensayo de primavera, este índice asciende ligeramente, en el ensayo de invierno se incrementa bastante más a partir del muestreo 2, situándose en el último muestreo por encima del nivel alcanzado en el ensayo de primavera.

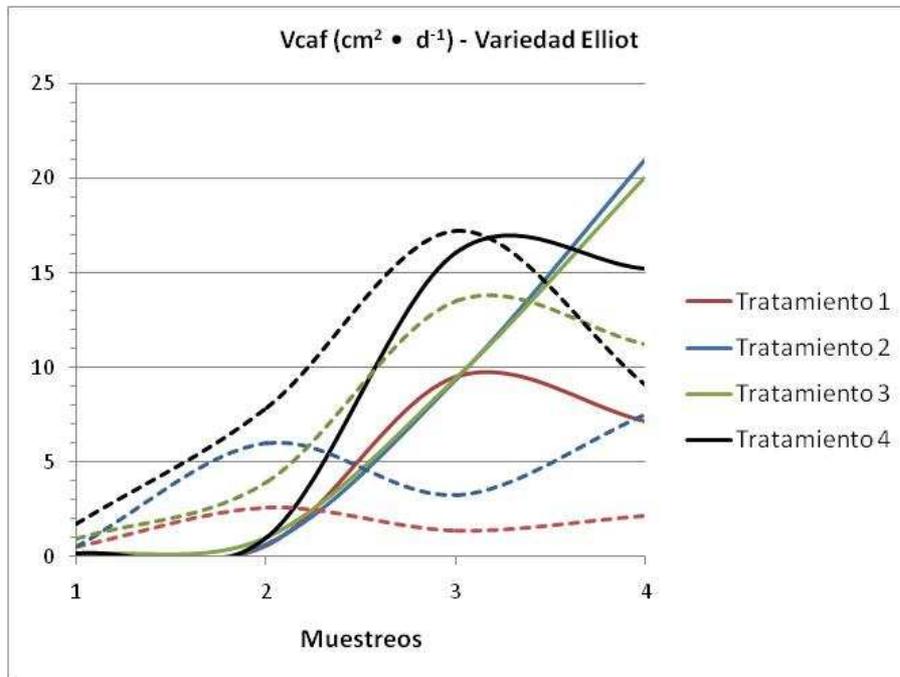
Tabla 26. Vcaf media de la variedad Elliot expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,033±0,001 a	0,066±0,010 ab	0,094±0,016 b	0,164±0,027 c
		Primavera	0,526±0,032 a	0,507±0,046 a	0,956±0,043 b	1,750±0,113 c
	M2	Invierno	0,584±0,095 a	0,670±0,041 a	1,045±0,191 b	1,019±0,211 b
		Primavera	2,600±0,581 a	6,009±0,878 bc	3,952±0,759 ab	7,835±1,325 c
	M3	Invierno	9,523±0,619 a	9,395±0,366 a	9,446±0,871 a	16,097±1,447 b
		Primavera	1,345±0,258 a	3,237±0,714 a	13,538±2,483 b	17,242±2,870 b
	M4	Invierno	7,124±1,508 a	20,999±4,680 b	20,106±5,350 b	15,231±2,553 ab
		Primavera	2,166±0,342 a	7,543±2,025 ab	11,214±2,111 b	9,114±1,928 ab

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 26 se ven diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica una notable influencia de la concentración de nitratos aplicada en el abonado sobre la tasa de crecimiento de la superficie foliar.

Gráfico 22. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad Elliot expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

En el gráfico 22, si observamos el primer muestreo en el ensayo de primavera, la velocidad de crecimiento del área foliar es mayor que en el ensayo de invierno. Desde el muestreo 2 al muestreo 3 se aprecia un aumento general en ambos ensayos exceptuando los tratamientos 1 y 2 del ensayo de primavera. Este hecho se invierte en los siguientes muestreos, y en el ensayo de invierno este índice se sitúa en el último muestreo por encima del nivel alcanzado en el ensayo de primavera.

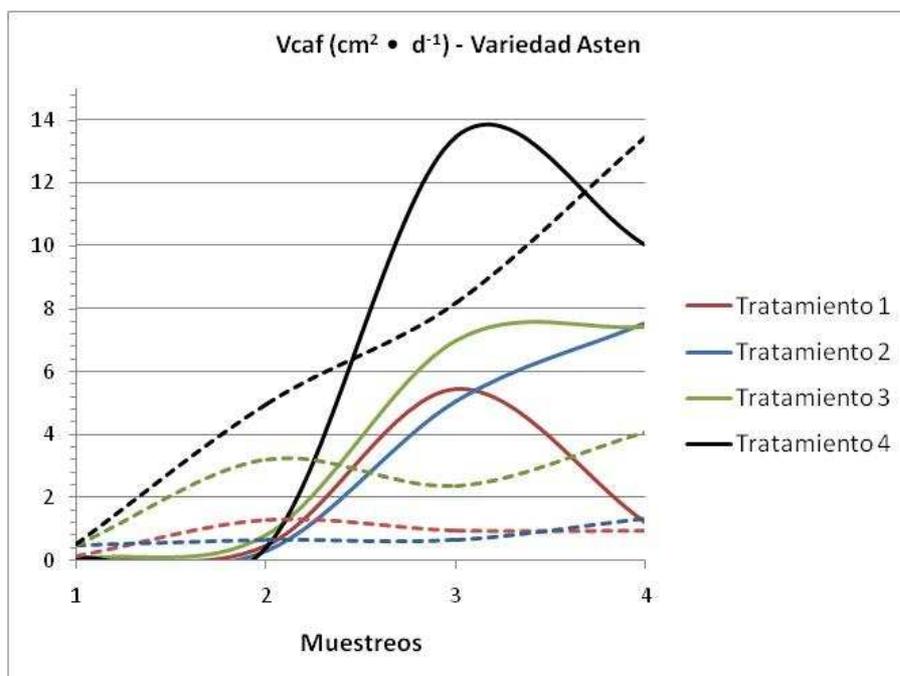
Tabla 27. Vcaf media de la variedad Asten expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,022±0,005 a	0,027±0,005 a	0,075±0,018 b	0,086±0,002 b
		Primavera	0,129±0,041 a	0,485±0,065 b	0,462±0,074 b	0,505±0,149 b
	M2	Invierno	0,476±0,140 a	0,300±0,087 a	0,840±0,240 b	0,437±0,091 a
		Primavera	1,297±0,437 a	0,652±0,254 a	3,207±0,293 ab	4,991±1,373 b
	M3	Invierno	5,459±1,049 a	5,050±0,748 a	6,993±0,733 a	13,469±1,988 b
		Primavera	0,950±0,263 a	0,659±0,172 a	2,369±0,0755 a	8,183±2,391 b
	M4	Invierno	1,229±0,368 a	7,536±2,294 b	7,426±2,551 b	10,044±2,880 b
		Primavera	0,949±0,228 a	1,336±0,175 a	4,092±1,200 a	13,448±3,387 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 27 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en Vcaf.

Gráfico 23. Velocidad de crecimiento medio de la superficie foliar de la variedad Asten expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Observando el gráfico 23, comprobamos que en el primer muestreo, ensayo de primavera, la velocidad de crecimiento del área foliar es mayor que en el ensayo de invierno.

En el ensayo de invierno, hay un aumento importante entre los muestreos 2 y 3, seguido de un descenso que se mantiene hasta el último muestreo.

En el ensayo de primavera hay pocas variaciones en este índice, a excepción del tratamiento 4, que asciende de forma casi lineal durante todo el ensayo.

DISCUSIÓN:

Aparecen picos más altos de tasa de crecimiento de superficie foliar en el ensayo de invierno que en el de primavera, desde el muestreo 3 hasta el final de la fase de semillero. Esto se debe a la influencia que tiene la radiación sobre los índices relacionados con el área foliar (Hunt *et al.*, 2002; Lallana *et al.*, 2004).

Por otro lado, el tratamiento influye considerablemente en este parámetro, aumentando esta tasa conforme a la concentración de nitratos en la solución nutritiva.

Los trabajos con brócoli y lechuga ya mencionados anteriormente muestran el mismo comportamiento en cuanto a la respuesta frente a diferentes concentraciones de nitrato.

4.4.4. Índice de área foliar (LAI).

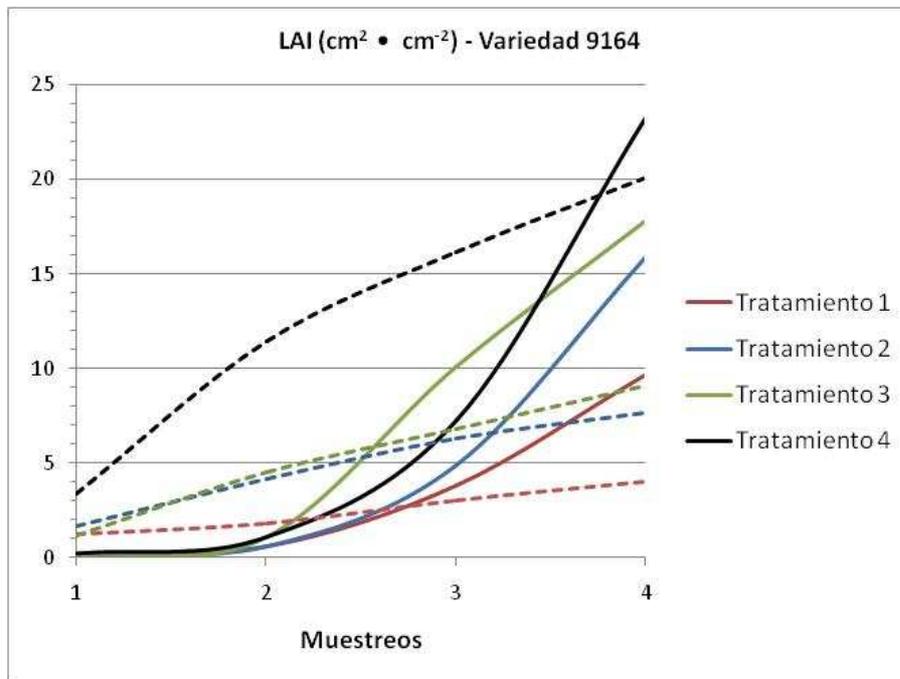
Tabla 28. LAI media de la variedad 9164 expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,094±0,005 a	0,111±0,010 a	0,144±0,065 a	0,231±0,021 b
		Primavera	1,234±0,172 a	1,625±0,295 a	1,179±0,179 a	3,352±0,758 b
	M2	Invierno	0,609±0,088 a	0,601±0,075 a	1,063±0,279 a	1,067±0,563 a
		Primavera	1,829±0,580 a	4,123±0,222 a	4,520±0,367 a	11,431±1,834 b
	M3	Invierno	3,800±0,173 a	4,892±0,648 a	10,091±0,651 c	7,204±1,001 b
		Primavera	3,052±0,329 a	6,274±0,509 b	6,817±1,238 b	16,176±0,593 c
	M4	Invierno	9,690±2,080 a	15,894±3,108 ab	17,782±3,157 bc	23,206±
		Primavera	3,987±0,355 a	7,686±0,223 b	9,090±0,965 b	20,103±1,138 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 28 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en LAI.

Gráfico 24. Índice de área foliar de la variedad 9164 expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 24 muestra como en el primer muestreo, ensayo de primavera, el índice de área foliar es mayor que en el ensayo de invierno. Este hecho se invierte en los siguientes muestreos, y mientras en las plántulas del ensayo de primavera, este índice asciende ligeramente desde el primer muestreo, en el ensayo de invierno se incrementa bastante más a partir del muestreo 2, situándose en el último muestreo por encima del nivel alcanzado en el ensayo de primavera.

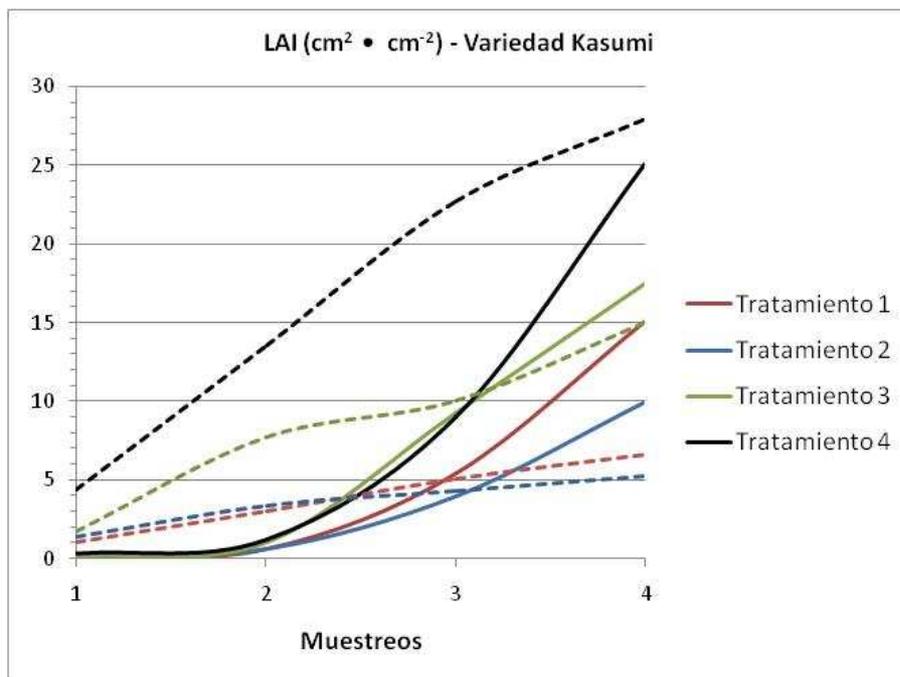
Tabla 29. LAI media de la variedad Kasumi expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,086±0,014 a	0,075±0,017 a	0,186±0,023 b	0,347±0,075 c
		Primavera	1,064±0,077 a	1,357±0,050 ab	1,754±0,285 b	4,384±0,482 c
	M2	Invierno	0,608±0,128 a	0,635±0,065 a	1,053±0,187 ab	1,233±0,204 b
		Primavera	3,055±0,492 a	3,372±0,367 a	7,708±1,196 b	13,577±0,928 c
	M3	Invierno	5,416±0,852 b	3,993±0,592 a	9,231±0,263 c	9,003±0,909 c
		Primavera	5,091±0,202 a	4,283±0,319 a	10,016±0,201 b	22,698±0,914 c
	M4	Invierno	15,141±1,494 ab	9,966±0,891 a	17,482±2,702 b	25,161±4,459 c
		Primavera	6,585±0,685 a	5,213±0,732 a	15,049±1,654 b	27,957±1,342 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como muestra la tabla 29, hay diferencias entre tratamientos con lo que podemos afirmar que la concentración de nitratos aplicada influye en este índice.

Gráfico 25. Índice de área foliar de la variedad Kasumi expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Si observamos el gráfico 25, vemos que en el primer muestreo de primavera, el índice de área foliar es mayor que en el ensayo de invierno. La situación cambia en los siguientes muestreos, y mientras en las plántulas del ensayo de primavera, este índice aumenta desde el primer muestreo, en el ensayo de invierno se incrementa aún más a partir del muestreo 2, situándose en el último muestreo por encima del nivel alcanzado en el ensayo de primavera, con la excepción del tratamiento 4.

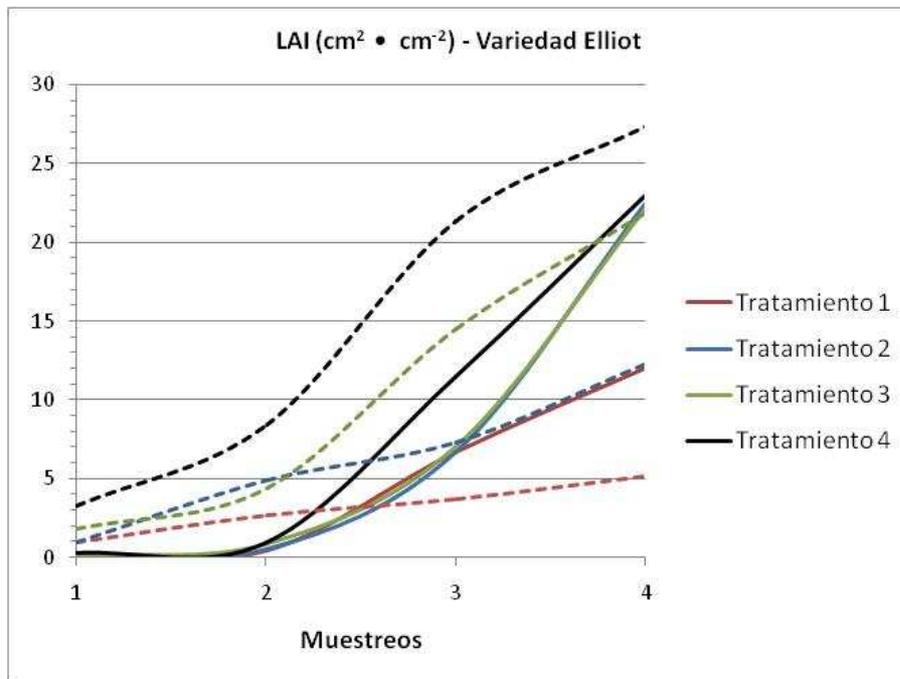
Tabla 30. LAI media de la variedad Elliot expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,058±0,002 a	0,117±0,018 ab	0,168±0,022 b	0,293±0,049 c
		Primavera	0,986±0,061 a	0,950±0,114 a	1,792±0,081 b	3,280±0,213 c
	M2	Invierno	0,441±0,064 a	0,556±0,039 a	0,854±0,081 b	0,961±0,118 b
		Primavera	2,692±0,486 a	4,892±0,890 b	4,385±1,060 ab	8,420±1,616 c
	M3	Invierno	6,689±0,494 a	6,720±0,243 a	7,051±0,515 a	11,521±0,834 b
		Primavera	3,701±0,083 a	7,320±1,372 a	14,535±1,989 b	21,348±2,231 c
	M4	Invierno	12,030±2,112 a	22,464±4,265 b	22,126±4,99 b	22,941±1,78 b
		Primavera	5,121±0,494 a	12,268±1,939 b	21,893±1,239 c	27,327±1,814 d

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Vemos en la tabla 30 la clara influencia que ejerce la concentración de nitratos de la solución nutritiva sobre el índice de área foliar, pues aparecen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos niveles.

Gráfico 26. Índice de área foliar de la variedad Elliot expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$, para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

En el primer muestreo vemos que en el ensayo de primavera, el índice de área foliar es mayor que en el ensayo de invierno. Este hecho se invierte en los siguientes muestreos para los tratamientos 1 y 2. En los tratamientos 3 y 4 se observa un aumento más acusado a partir del muestreo 2, en ambos ensayos, situándose al mismo nivel las plántulas del tratamiento 3; mientras el tratamiento 4 del ensayo de primavera se mantiene ligeramente por encima del ensayo de invierno en el último muestreo.

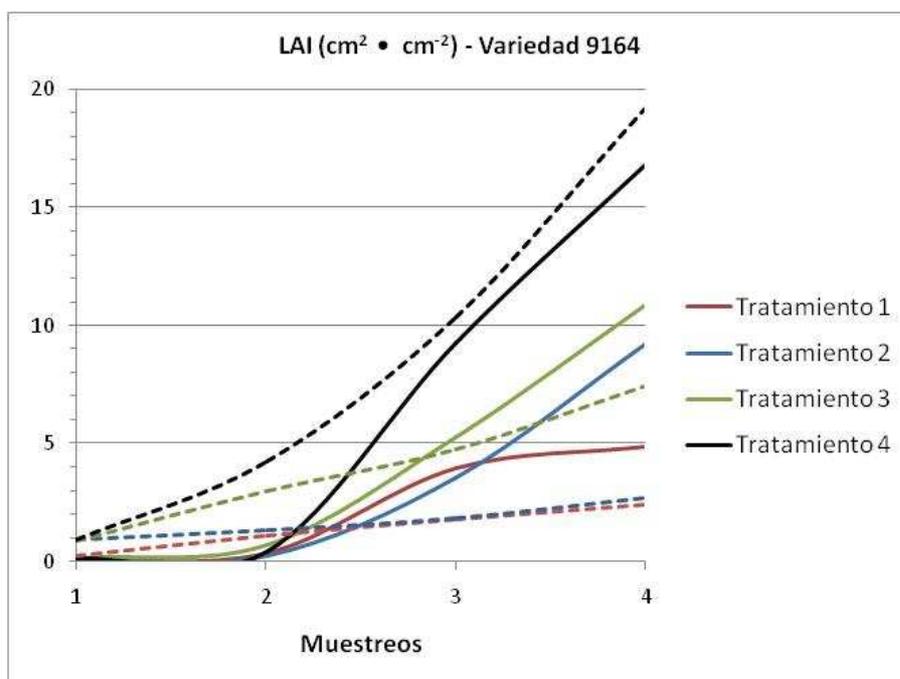
Tabla 31. LAI media de la variedad Asten expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,039±0,005 a	0,048±0,005 a	0,134±0,022 b	0,152±0,003 b
		Primavera	0,242±0,076 a	0,909±0,122 b	0,866±0,139 b	0,947±0,227 b
	M2	Invierno	0,352±0,107 a	0,245±0,060 a	0,685±0,164 b	0,439±0,061 a
		Primavera	1,093±0,213 a	1,337±0,356 a	2,970±0,308 b	4,222±1,136 b
	M3	Invierno	3,933±0,580 ab	3,558±0,536 a	5,273±0,609 b	9,275±1,243 c
		Primavera	1,805±0,249 a	1,831±0,263 a	4,746±0,361 b	10,357±2,102 c
	M4	Invierno	4,855±2,005 a	9,208±2,380 ab	10,841±3,250 ab	16,806±2,393 b
		Primavera	2,427±0,408 a	2,707±0,261 a	7,431±1,936 b	19,179±1,811 c

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 31 se ven diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica una notable influencia de la concentración de nitratos aplicada en el abonado sobre el índice de área foliar.

Gráfico 27. Índice de área foliar de la variedad Asten expresado en $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 27 muestra que en el primer muestreo, en el ensayo de primavera, el índice de área foliar es mayor que en el ensayo de invierno.

En los siguientes muestreos, este comportamiento cambia, y mientras en las plántulas del ensayo de primavera, este índice asciende ligeramente desde el primer muestreo, en el ensayo de invierno se incrementa bastante más a partir del muestreo 2, situándose en el último muestreo por encima del nivel alcanzado en el ensayo de primavera, con la excepción del tratamiento 4.

DISCUSION:

En todas las variedades se cumple que los niveles más altos de LAI se dan en el ensayo de invierno, último muestreo. En cuanto a la influencia del tratamiento, queda patente que este índice crece con la concentración de nitratos en el rango que estudiamos.

Diversos autores coinciden en que a mayores dosis de fertilización con nitrógeno, se obtiene mayor área foliar por unidad de suelo, es decir, que la fertilización nitrogenada permite desarrollar mayores niveles de índice de área foliar y con ello capturar más luz; así, para Lallana *et al.* (2004), los principales factores que producen un incremento en LAI son el suministro de nitrógeno, densidad, sombreado y altos niveles de suministro de agua. Es el parámetro básico que relaciona la radiación que intercepta un cultivo con la radiación total incidente, lo cual implica que las plántulas con mayor LAI son más eficientes desde el punto de vista del uso de la luz solar (Krug, 1997).

4.4.5. Velocidad de diferenciación foliar (Vdf).

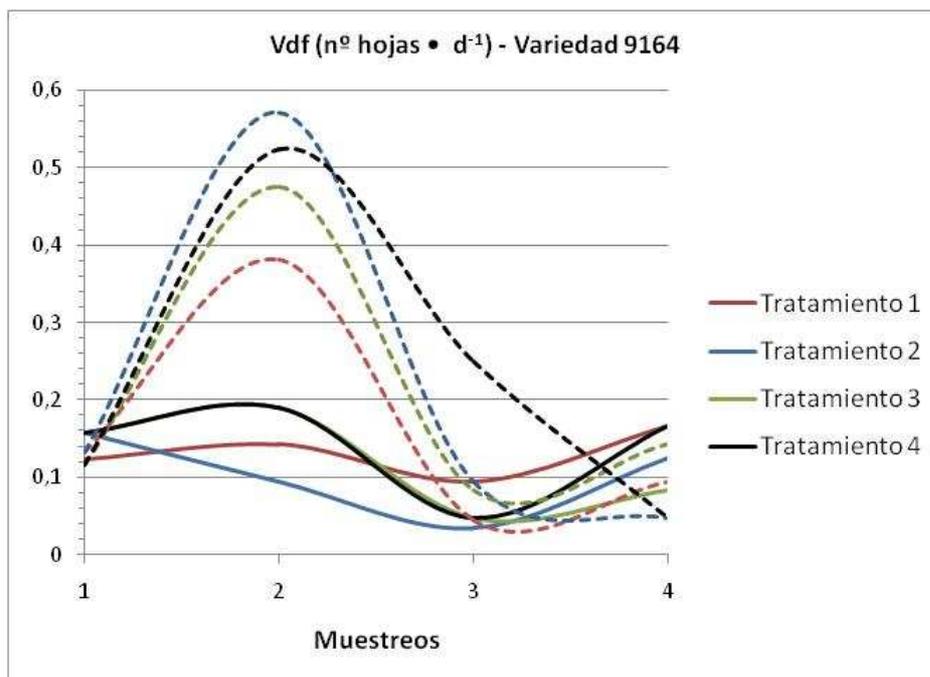
Tabla 32. Vdf media de la variedad 9164 expresada en nº hojas • d⁻¹.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,123±0,030 a	0,158±0,020 b	0,158±0,020 b	0,158±0,020 b
		Primavera	0,133±0,028 a	0,133±0,028 a	0,117±0,028 a	0,117±0,028 a
	M2	Invierno	0,143±0,061 ab	0,095±0,015 a	0,190±0,082 b	0,190±0,082 b
		Primavera	0,381±0,082 a	0,571±0,082 b	0,476±0,081 ab	0,524±0,081 b
	M3	Invierno	0,095±0,018 b	0,022±0,005 a	0,048±0,018 ab	0,048±0,018 ab
		Primavera	0,068±0,016 a	0,095±0,020 a	0,083±0,018 a	0,250±0,082 b
	M4	Invierno	0,167±0,022 b	0,125±0,020 b	0,083±0,017 a	0,167±0,019 a
		Primavera	0,095±0,018 ab	0,048±0,018 a	0,143±0,023 b	0,048±0,019 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como muestra la tabla 32, hay diferencias entre tratamientos, luego queda patente que la concentración de nitratos aplicada influye en Vdf.

Gráfico 28. Ratio de diferenciación foliar de la variedad 9164 expresado en nº hojas • d⁻¹, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 28 refleja que en el ensayo de invierno hay pocas variaciones en lo que a este índice se refiere, manteniéndose en el rango 0 - 0,2 durante todo el ciclo. En el ensayo de primavera vemos que hasta el muestreo 2 hay un incremento importante, y a partir de ahí este índice decae para encontrarse en niveles similares al ensayo de invierno en el último muestreo.

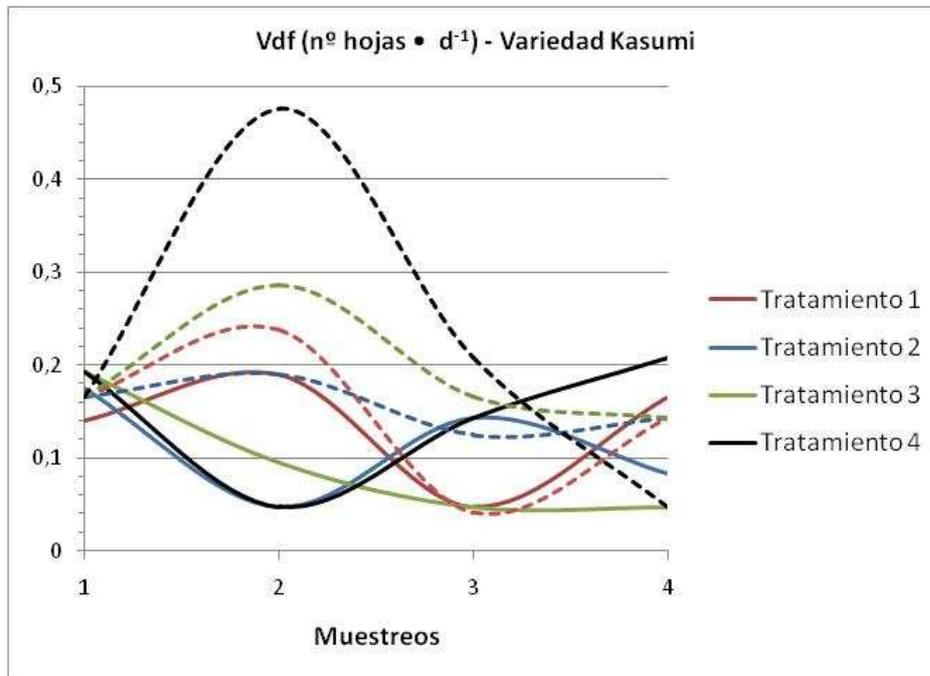
Tabla 33. Vdf media de la variedad Kasumi expresada en nº hojas • d⁻¹.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,140±0,030 a	0,175±0,032 a	0,193±0,036 a	0,193±0,026 a
		Primavera	0,167±0,028 a	0,167±0,028 a	0,167±0,028 a	0,167±0,028 a
	M2	Invierno	0,190±0,041 b	0,048±0,009 a	0,095±0,014 ab	0,048±0,012 a
		Primavera	0,238±0,062 a	0,190±0,033 a	0,286±0,072 a	0,476±0,081 b
	M3	Invierno	0,048±0,007 a	0,143±0,029 b	0,048±0,009 ab	0,143±0,035 b
		Primavera	0,042±0,007 a	0,125±0,022 ab	0,167±0,033 ab	0,208±0,041 b
	M4	Invierno	0,167±0,031 b	0,083±0,012 ab	0,042±0,006 a	0,208±0,039 b
		Primavera	0,143±0,015 a	0,143±0,012 a	0,143±0,013 a	0,048±0,005 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Podemos ver en la tabla 33, que hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos; esto delata la influencia que ejerce sobre la tasa de diferenciación foliar la aplicación de diferentes concentraciones de nitratos en la solución nutritiva.

Gráfico 29. Ratio de diferenciación foliar de la variedad Kasumi expresado en nº hojas • d⁻¹, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Viendo el gráfico 29, observamos pocas variaciones en lo que a este índice se refiere, pues se mantiene en el rango 0 y 0,2 durante todo el ciclo, a excepción del tratamiento 4 de primavera, que hasta el muestreo 2 tiene un incremento importante, y a partir de ahí, la velocidad de producción de hojas nuevas decae para encontrarse en niveles inferiores al ensayo de invierno en el último muestreo.

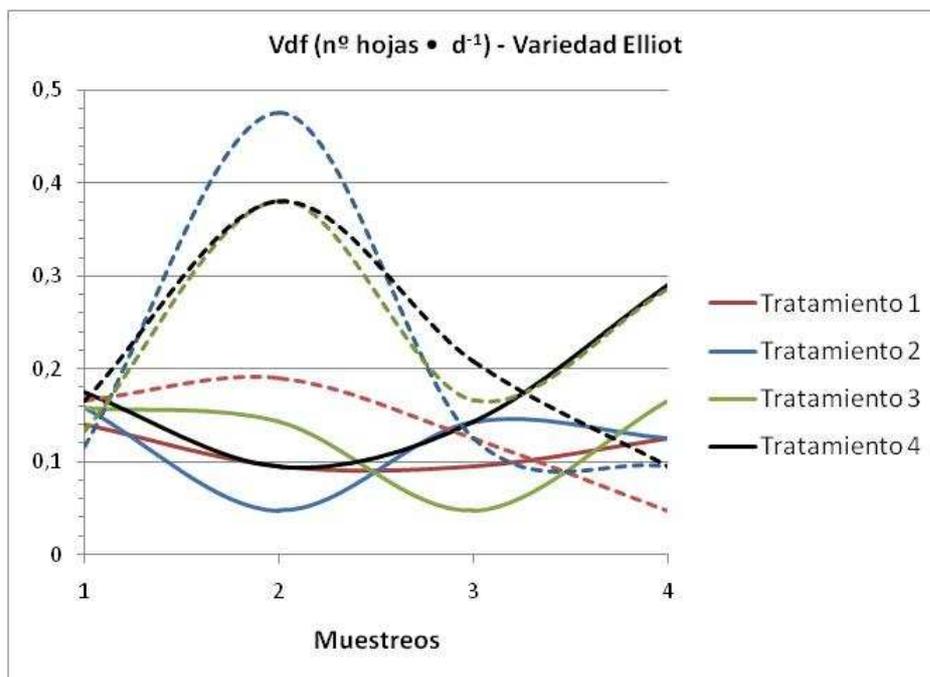
Tabla 34. Vdf media de la variedad Elliot expresada en nº hojas • d⁻¹.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,140±0,030 a	0,158±0,033 a	0,158±0,027 a	0,175±0,030 a
		Primavera	0,167±0,028 a	0,117±0,029 a	0,133±0,027 a	0,167±0,028 a
	M2	Invierno	0,048±0,005 a	0,048±0,009 a	0,143±0,025 b	0,095±0,022 ab
		Primavera	0,190±0,045 a	0,476±0,081 b	0,381±0,082 ab	0,376±0,082 ab
	M3	Invierno	0,095±0,016 ab	0,048±0,008 a	0,048±0,011 a	0,143±0,024 b
		Primavera	0,125±0,023 a	0,125±0,020 a	0,167±0,029 a	0,208±0,030 a
	M4	Invierno	0,125±0,026 a	0,125±0,024 a	0,167±0,033 a	0,292±0,075 b
		Primavera	0,048±0,008 a	0,095±0,018 a	0,286±0,080 b	0,095±0,018 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como podemos ver en la tabla 34, hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, delatando así la influencia que ejerce sobre la tasa de diferenciación foliar el factor de la concentración de nitratos de la solución nutritiva.

Gráfico 30. Ratio de diferenciación foliar de la variedad Elliot expresado en nº hojas • d⁻¹, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T2 = 4 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T3 = 8 mmol NO₃⁻ • l⁻¹; T4 = 12 mmol NO₃⁻ • l⁻¹), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 30 muestra que en el ensayo de invierno hay pocas variaciones en lo que a este índice se refiere, manteniéndose en el rango 0 y 0,2 durante todo el ciclo, exceptuando el tratamiento 4 que finaliza el ciclo en 0,3 hojas • d⁻¹ y con tendencia ascendente.

En el ensayo de primavera observamos que hasta el muestreo 2 hay un incremento importante, y a partir de ahí, este índice decae para encontrarse en niveles similares al ensayo de invierno, en el último muestreo.

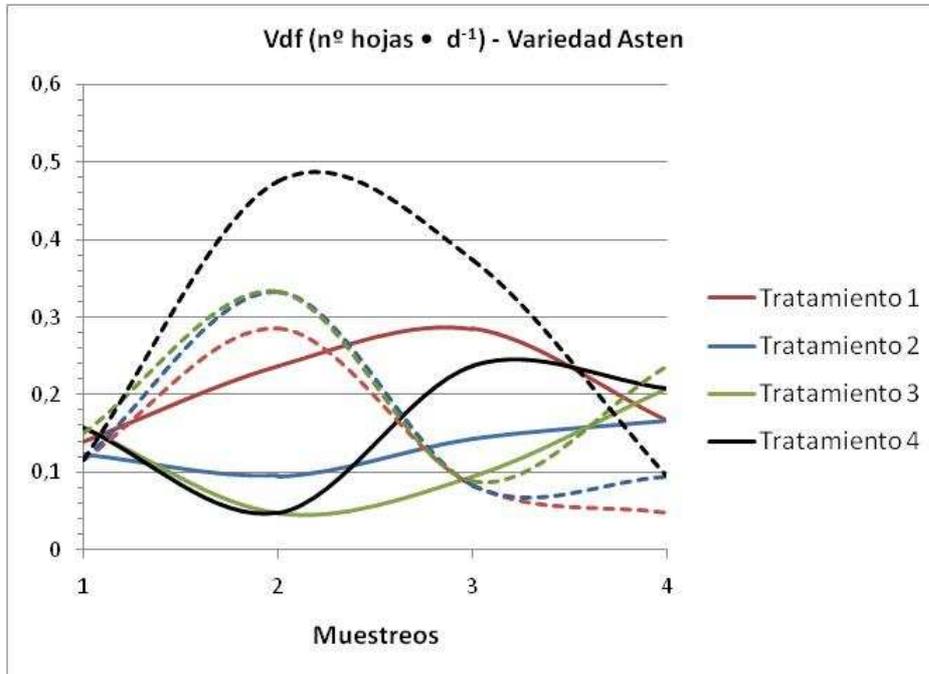
Tabla 35. Vdf media de la variedad Asten expresada en n^o hojas • d⁻¹.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,140±0,030 a	0,123±0,030 a	0,158±0,005 a	0,158±0,010 a
		Primavera	0,117±0,028 a	0,117±0,018 a	0,150±0,050 a	0,117±0,034 a
	M2	Invierno	0,138±0,032 b	0,095±0,035 ab	0,048±0,022 a	0,048±0,018 a
		Primavera	0,286±0,073 a	0,333±0,082 a	0,333±0,105 a	0,476±0,164 a
	M3	Invierno	0,286±0,072 b	0,143±0,054 a	0,095±0,020 a	0,238±0,077 ab
		Primavera	0,083±0,022 a	0,083±0,022 a	0,089±0,011 a	0,375±0,125 b
	M4	Invierno	0,167±0,072 a	0,167±0,072 a	0,208±0,072 a	0,208±0,072 a
		Primavera	0,048±0,021 a	0,095±0,033 ab	0,238±0,082 b	0,095±0,033 ab

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 35 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en Vdf.

Gráfico 31. Ratio de diferenciación foliar de la variedad Asten expresado en n° hojas $\cdot d^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 mmol $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Vemos en el gráfico 31 que el muestreo 2 es un momento crítico para ambos ensayos; mientras en invierno la producción de nuevas hojas desciende hasta ahí para luego ascender, en primavera ocurre justo lo contrario, alcanzando un máximo en este muestreo y descendiendo progresivamente hasta el último muestreo.

En el muestreo final, la producción de hojas se sitúa en niveles similares para ambos ensayos.

DISCUSIÓN:

El ensayo de primavera muestra plántulas que crean más hojas y esta creación de nuevas hojas ocurre de forma más precoz, alcanzando su máximo en el muestreo 2.

La concentración de nitratos en el abonado afecta positivamente a la tasa de desarrollo de nuevas hojas, e igual ocurre en plántulas de pepino, lechuga y brócoli, según los trabajos citados en apartados anteriores.

4.4.6. Velocidad de asimilación neta (NAR) de biomasa seca total y área foliar.

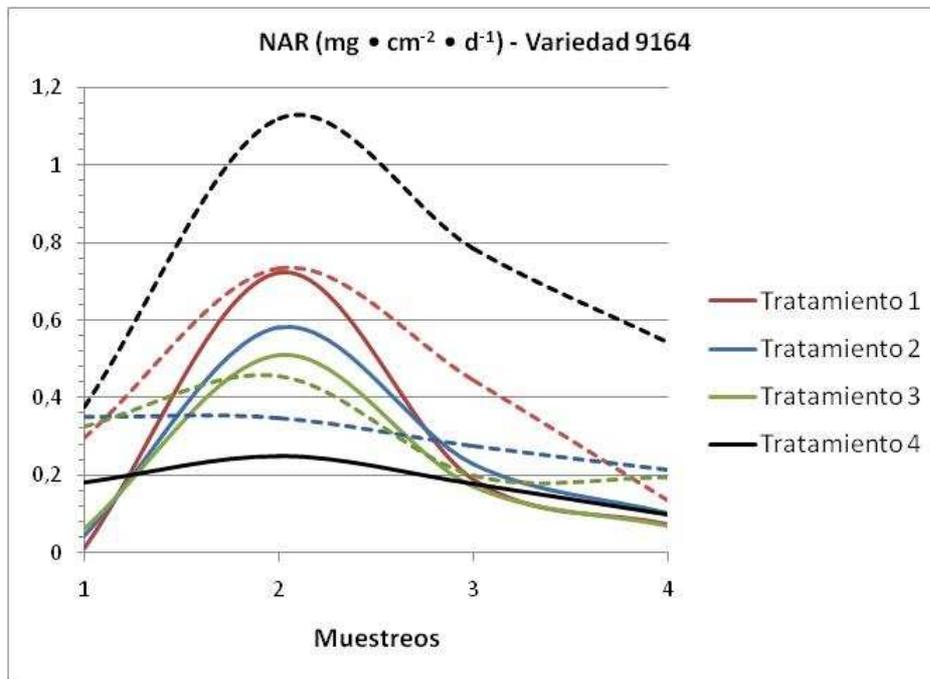
Tabla 36. NAR media de la variedad 9164 expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,011±0,005 a	0,043±0,011 ab	0,064±0,019 b	0,184±0,037 c
		Primavera	0,296±0,026 a	0,351±0,044 a	0,327±0,085 a	0,378±0,027 a
	M2	Invierno	0,722±0,080 c	0,581±0,054 bc	0,512±0,132 b	0,251±0,040 a
		Primavera	0,735±0,172 b	0,348±0,033 a	0,458±0,055 a	1,120±0,059 c
	M3	Invierno	0,188±0,046 a	0,228±0,028 a	0,172±0,049 a	0,178±0,015 a
		Primavera	0,446±0,159 b	0,276±0,063 ab	0,199±0,082 a	0,786±0,079 c
	M4	Invierno	0,073±0,010 ab	0,101±0,024 b	0,064±0,017 a	0,081±0,014 ab
		Primavera	0,134±0,026 a	0,213±0,059 a	0,194±0,047 a	0,542±0,122 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 36 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en NAR.

Gráfico 32. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad 9164 expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 32 muestra como en el primer muestreo, ensayo de primavera, la tasa de asimilación neta es mayor que en el ensayo de invierno; sin embargo, en el muestreo 2, que es importante para ambos ensayos, pues las plántulas alcanzan el punto de máxima producción de biomasa por unidad de superficie foliar y tiempo, solo cumplen esto las plántulas del tratamiento 4.

En invierno, a mayor concentración de nitratos, se obtienen menores máximos de NAR; como también ocurre en primavera, exceptuando el tratamiento 4, pues los mayores valores corresponden a los tratamientos 1 y 4.

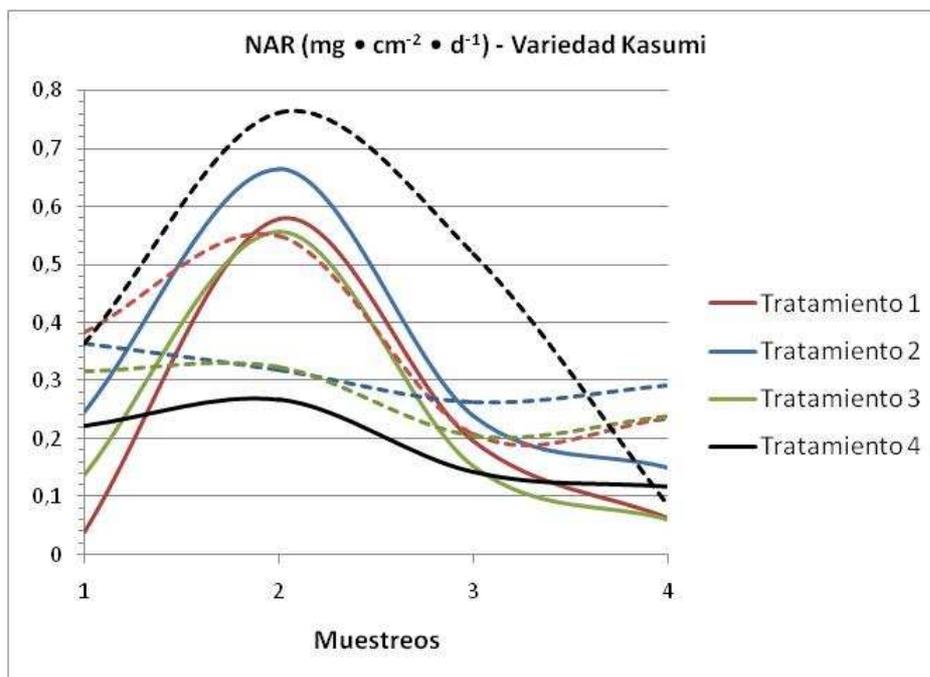
Tabla 37. NAR media de la variedad Kasumi expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,039±0,006 a	0,247±0,041 b	0,139±0,003 ab	0,221±0,014 b
		Primavera	0,385±0,042 b	0,365±0,013 ab	0,316±0,019 a	0,364±0,033 ab
	M2	Invierno	0,578±0,124 b	0,665±1,151 b	0,556±0,070 b	0,267±0,052 a
		Primavera	0,550±0,039 b	0,319±0,059 a	0,324±0,028 a	0,761±0,177 c
	M3	Invierno	0,196±0,011 bc	0,240±0,020 c	0,153±0,032 ab	0,142±0,030 a
		Primavera	0,208±0,038 a	0,263±0,046 a	0,206±0,033 a	0,519±0,062 b
	M4	Invierno	0,064±0,007 a	0,151±0,024 b	0,062±0,003 a	0,119±0,017 b
		Primavera	0,234±0,026 ab	0,291±0,622 b	0,240±0,037 b	0,084±0,011 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Como podemos ver en la tabla 37, hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, delatando así la influencia que ejerce sobre la tasa de asimilación neta el factor de la concentración de nitratos de la solución nutritiva.

Gráfico 33. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad Kasumi expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Vemos en el gráfico 33 que en el primer muestreo, ensayo de primavera, la tasa de asimilación neta es mayor que en el ensayo de invierno, pero si nos fijamos en el muestreo 2, donde las plántulas alcanzan el punto de máxima producción de biomasa por unidad de superficie foliar y tiempo, se obtienen valores más altos en invierno que en primavera en todos los tratamientos, menos T4.

En invierno, a mayor concentración de nitratos, se obtienen máximos inferiores de NAR; como también ocurre en primavera, salvo el tratamiento 4, dándose los valores más altos en los tratamientos 1 y 4.

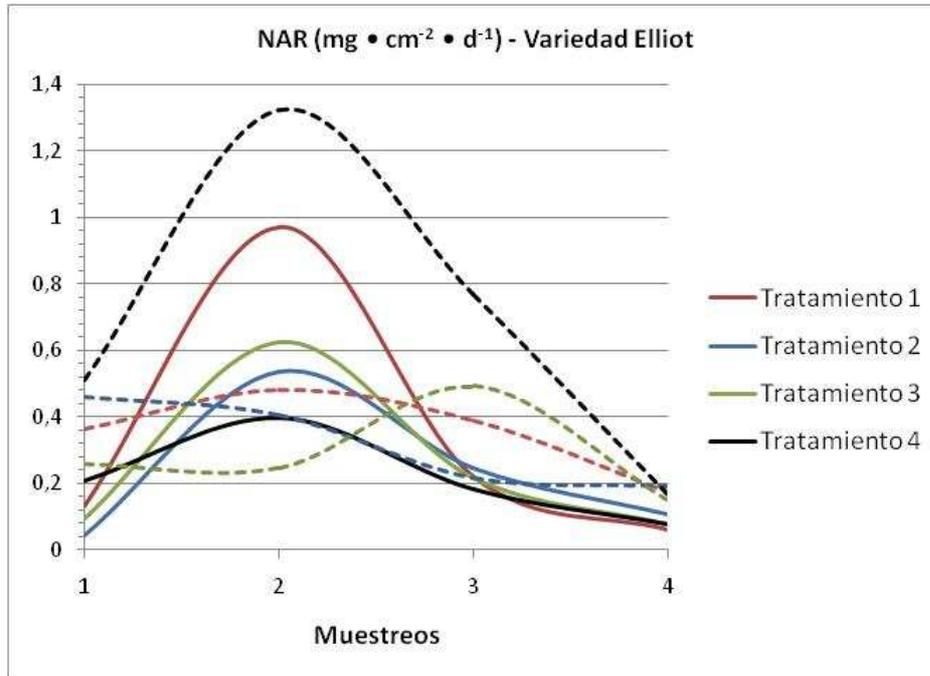
Tabla 38. NAR media de la variedad Elliot expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,133±0,017 b	0,043±0,007 a	0,093±0,013 ab	0,207±0,002 c
		Primavera	0,366±0,034 ab	0,461±0,058 bc	0,259±0,007 a	0,511±0,058 c
	M2	Invierno	0,972±0,074 c	0,537±0,075 b	0,627±0,040 b	0,397±0,034 a
		Primavera	0,480±0,050 a	0,406±0,079 a	0,248±0,027 a	1,324±0,229 b
	M3	Invierno	0,220±0,036 a	0,248±0,019 a	0,217±0,033 a	0,182±0,015 a
		Primavera	0,390±0,086 ab	0,218±0,030 a	0,493±0,101 b	0,768±0,078 c
	M4	Invierno	0,062±0,004 a	0,105±0,014 b	0,077±0,010 ab	0,078±0,006 ab
		Primavera	0,174±0,045 a	0,192±0,032 a	0,150±0,036 a	0,165±0,035 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 38 se ven diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica una notable influencia de la concentración de nitratos aplicada en el abonado sobre la tasa de asimilación neta.

Gráfico 34. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad Elliot expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($T1 = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T2 = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T3 = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $T4 = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

En el gráfico 34 podemos observar como en el primer muestreo, ensayo de primavera, la tasa de asimilación neta es mayor que en el ensayo de invierno; sin embargo, en el muestreo 2, que es crucial para ambos ensayos, pues las plántulas alcanzan la máxima producción de biomasa por unidad de superficie foliar y tiempo, solo se cumple esto en el caso de plántulas del tratamiento 4.

A mayor concentración de nitratos, en invierno se obtienen menores máximos de NAR; como también ocurre en primavera, exceptuando el tratamiento 4, pues los mayores valores corresponden a los tratamientos 1 y 4.

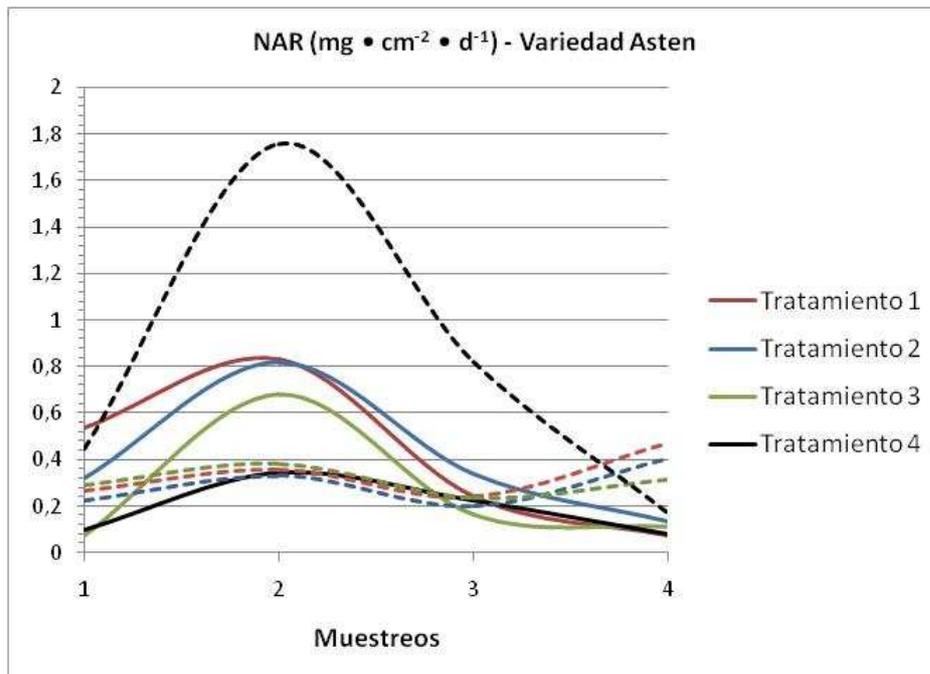
Tabla 39. NAR media de la variedad Asten expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,537±0,107 c	0,319±0,061 b	0,076±0,014 a	0,100±0,021 a
		Primavera	0,269±0,062 a	0,223±0,029 a	0,291±0,025 a	0,449±0,070 b
	M2	Invierno	0,830±0,210 b	0,820±0,098 b	0,681±0,097 b	0,345±0,081 a
		Primavera	0,356±0,099 a	0,333±0,078 a	0,384±0,102 a	1,758±0,315 b
	M3	Invierno	0,243±0,012 a	0,337±0,071 b	0,164±0,036 a	0,222±0,023 a
		Primavera	0,241±0,520 a	0,202±0,025 a	0,236±0,056 a	0,820±0,160 b
	M4	Invierno	0,077±0,020 a	0,134±0,029 b	0,112±0,011 ab	0,079±0,023 a
		Primavera	0,473±0,134 b	0,403±0,139 b	0,316±0,104 ab	0,170±0,064 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 39 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en NAR.

Gráfico 35. Velocidad de asimilación neta de la biomasa seca total en función del área foliar de la variedad Asten expresada en $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = $2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = $4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = $8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

El gráfico 35 muestra que el muestreo 2 es crucial para ambos ensayos, las plántulas alcanzan el punto de máxima producción de biomasa por unidad de superficie foliar y tiempo; vemos que se obtienen valores más altos en invierno que en primavera en todos los tratamientos, menos T4.

En invierno, a mayor concentración de nitratos, se obtienen máximos inferiores de NAR; y en primavera, excepto el tratamiento 4, que presenta los mayores niveles de este índice, superando los valores obtenidos en el ensayo de invierno, el resto de tratamientos no presentan diferencias importantes.

DISCUSIÓN:

Las cuatro variedades responden de manera similar a los diferentes ensayos y tratamientos, aumentando NAR rápidamente hasta el muestreo 2, para descender en los siguientes muestreos. Hernández (2001) describe el mismo comportamiento en plántulas de brócoli.

Por otro lado, se observa que, en el ensayo 1 se alcanzan valores más altos de NAR; e igual ocurre en el caso de brócoli.

Esto es así en todos los tratamientos, a excepción del tratamiento 4, en el que la alta concentración de nitratos hace que aumente el peso seco, compensando así el aumento de superficie foliar que podemos deducir de los datos arrojados por LAI (apartado 4.4.4.).

Con la excepción del tratamiento 4 en el ensayo 2, la concentración de nitratos está inversamente relacionada con NAR en el resto de los casos. Esta situación se da también en pimiento, según De Grazia *et al.* (2011), y en brócoli.

4.4.7. Velocidad de crecimiento relativo (RGR)

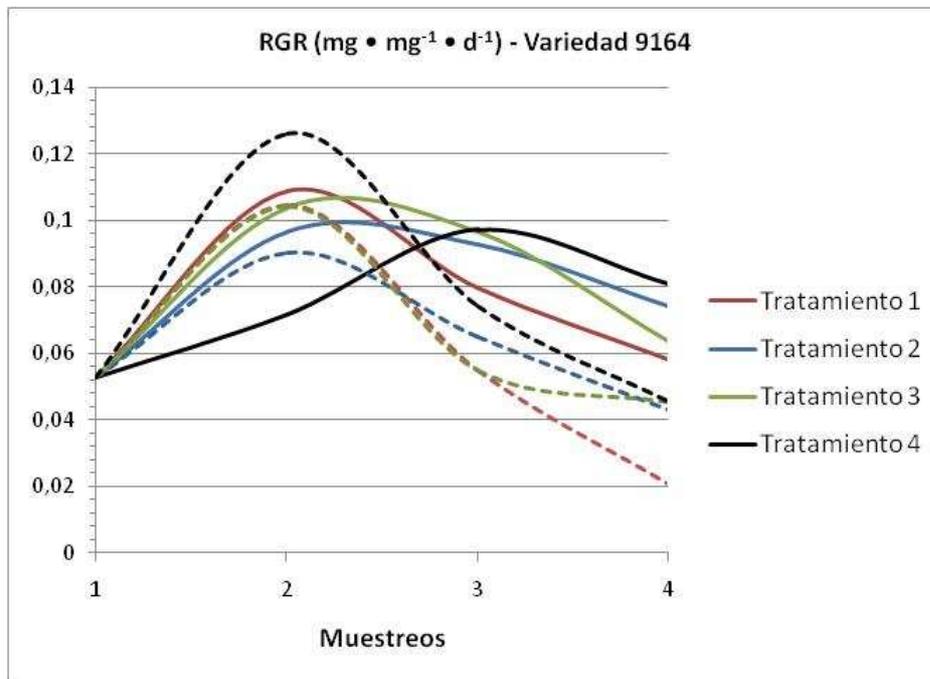
Tabla 40. RGR media de la variedad 9164 expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
9164	M1	Invierno	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
		Primavera	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
	M2	Invierno	0,109±0,001 b	0,097±0,002 b	0,104±0,008 b	0,072±0,011 a
		Primavera	0,105±0,008 a	0,090±0,004 a	0,104±0,012 a	0,126±0,003 b
	M3	Invierno	0,080±0,003 a	0,093±0,005 ab	0,097±0,017 ab	0,097±0,002 b
		Primavera	0,055±0,006 a	0,065±0,008 a	0,055±0,019 a	0,074±0,005 a
	M4	Invierno	0,058±0,004 a	0,074±0,013 ab	0,064±0,012 ab	0,081±0,005 b
		Primavera	0,021±0,002 a	0,043±0,004 b	0,045±0,009 b	0,045±0,009 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

Podemos ver en la tabla 40, que hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a partir del muestreo 2; esto delata la influencia que ejerce sobre la tasa de crecimiento relativo la aplicación de diferentes concentraciones de nitratos en la solución nutritiva.

Gráfico 36. Tasa de crecimiento relativo de la variedad 9164 expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Comprobamos fijándonos en el gráfico 36 que el muestreo 2 es crítico para ambos ensayos, las plántulas alcanzan el punto de máximo crecimiento relativo. A partir de ahí desciende gradualmente este índice, a excepción del tratamiento 4 del ensayo de invierno, que tiene su máximo en el muestreo 3.

En primavera las plántulas alcanzan mayores niveles de RGR cuanto mayor es la concentración de nitratos, y en invierno se observan pocas diferencias entre los picos de máxima tasa de crecimiento relativo.

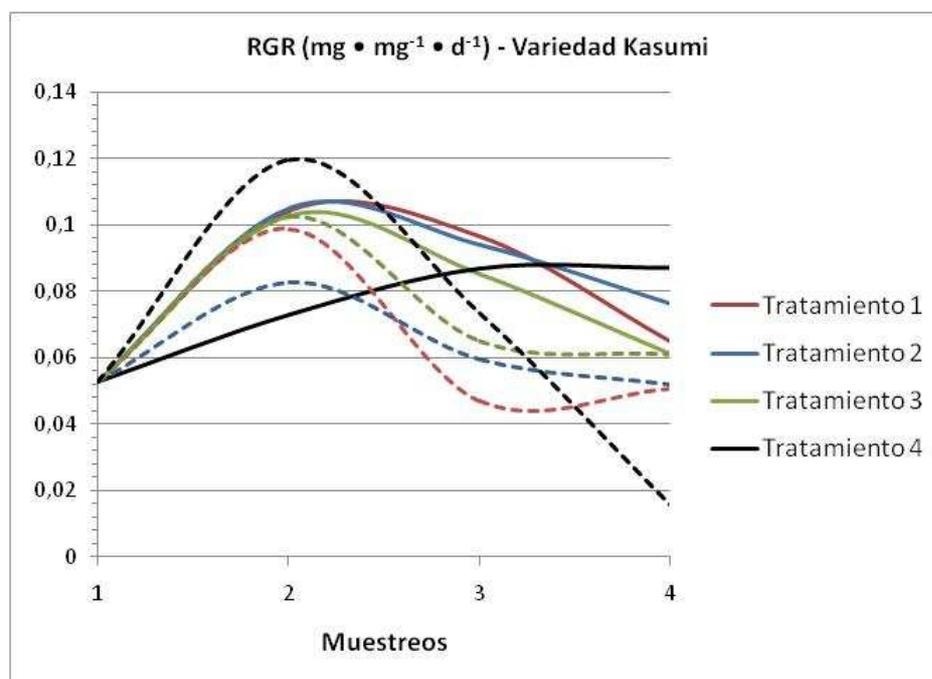
Tabla 41. RGR media de la variedad Kasumi expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
KASUMI	M1	Invierno	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
		Primavera	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
	M2	Invierno	0,104±0,002 b	0,105±0,006 b	0,103±0,008 b	0,073±0,009 a
		Primavera	0,099±0,005 b	0,083±0,008 a	0,102±0,004 b	0,119±0,007 c
	M3	Invierno	0,097±0,007 a	0,094±0,009 a	0,085±0,007 a	0,087±0,019 a
		Primavera	0,047±0,008 a	0,060±0,006 ab	0,065±0,008 ab	0,074±0,001 b
	M4	Invierno	0,065±0,002 a	0,076±0,004 ab	0,061±0,003 a	0,087±0,004 b
		Primavera	0,051±0,007 b	0,052±0,012 b	0,061±0,013 b	0,046±0,006 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 41 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos del muestreo 2 en adelante, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en RGR.

Gráfico 37. Tasa de crecimiento relativo de la variedad Kasumi expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Como muestra el gráfico 37, el muestreo 2 es crucial para ambos ensayos, las plántulas alcanzan el punto de máximo crecimiento relativo. A partir de ahí desciende gradualmente este índice, a excepción del tratamiento 4 del ensayo de invierno, que tiene su máximo en el muestreo 3 manteniéndose estable hasta el muestreo 4.

En invierno, con niveles bajos de nitratos obtenemos máximos más altos en RGR, y en primavera ocurre lo contrario.

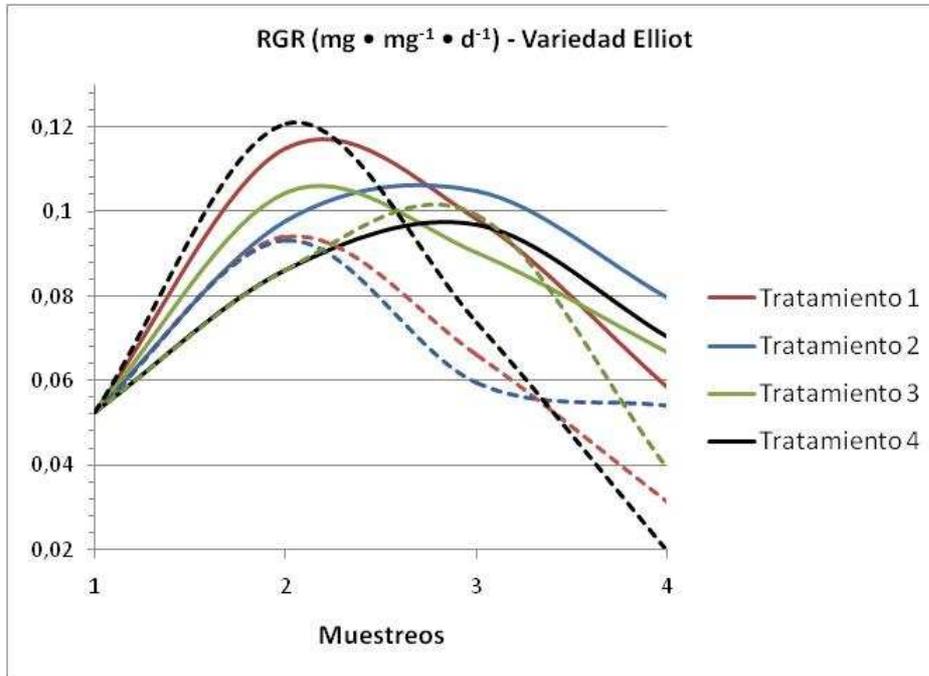
Tabla 42. RGR media de la variedad Elliot expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ELLIOT	M1	Invierno	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
		Primavera	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
	M2	Invierno	0,115±0,003 c	0,098±0,008 b	0,105±0,003 b	0,086±0,001 a
		Primavera	0,094±0,009 a	0,093±0,010 a	0,086±0,018 a	0,096±0,005 b
	M3	Invierno	0,098±0,004 ab	0,105±0,005 b	0,090±0,011 a	0,097±0,002 ab
		Primavera	0,066±0,008 a	0,060±0,007 a	0,099±0,011 b	0,074±0,005 ab
	M4	Invierno	0,059±0,004 a	0,080±0,013 b	0,067±0,014 ab	0,070±0,003 ab
		Primavera	0,031±0,003 a	0,054±0,011 ab	0,039±0,009 a	0,080±0,012 b

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 42, a partir del muestreo 2 se ven diferencias significativas entre tratamientos, a lo que indica una notable influencia de la concentración de nitratos aplicada en el abonado sobre la tasa de crecimiento relativo de biomasa seca.

Gráfico 38. Tasa de crecimiento relativo de la variedad Elliot expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado ($\text{T1} = 2 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $\text{T2} = 4 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $\text{T3} = 8 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; $\text{T4} = 12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

Podemos apreciar en el gráfico 38 que el muestreo 2 es importante para ambos ensayos, pues las plántulas alcanzan el mayor nivel de crecimiento relativo. A partir de ahí desciende gradualmente este índice hasta el último muestreo.

A mayor concentración de nitratos en el ensayo de primavera obtenemos valores más altos en los máximos de RGR, mientras que en invierno está relación es negativa.

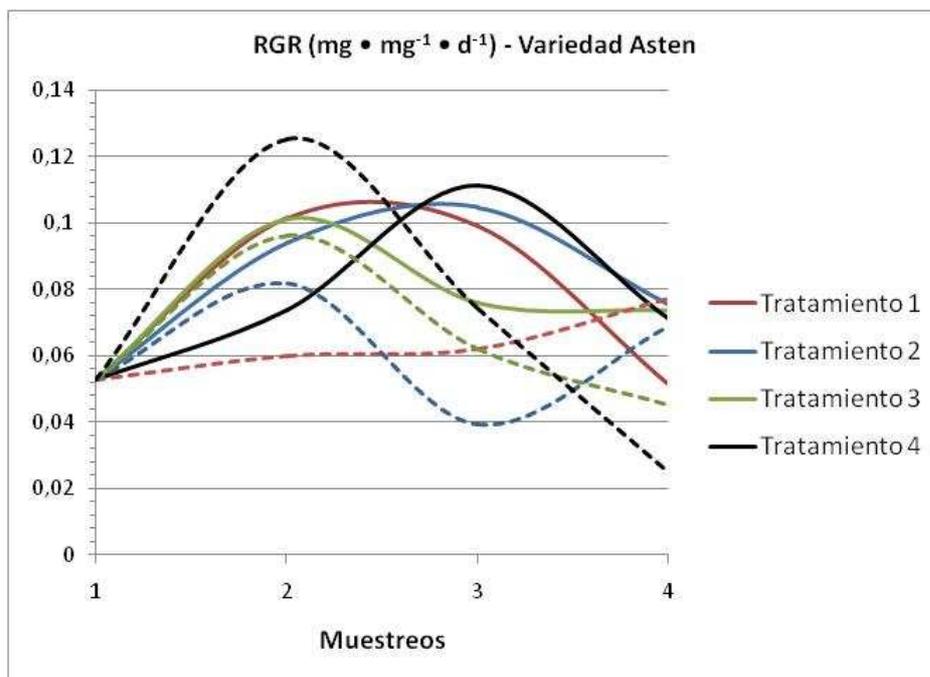
Tabla 43. RGR media de la variedad Asten expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

VARIEDAD	Muestreo	Ensayo	T1	T2	T3	T4
ASTEN	M1	Invierno	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
		Primavera	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a	0,053±0,000 a
	M2	Invierno	0,102±0,004 b	0,094±0,006 b	0,101±0,002 b	0,074±0,008 a
		Primavera	0,060±0,012 a	0,082±0,026 ab	0,096±0,008 ab	0,109±0,007 b
	M3	Invierno	0,099±0,004 b	0,105±0,002 bc	0,076±0,006 a	0,111±0,008 c
		Primavera	0,062±0,019 a	0,039±0,013 a	0,062±0,015 a	0,068±0,004 a
	M4	Invierno	0,052±0,012 a	0,076±0,005 b	0,074±0,004 b	0,071±0,012 b
		Primavera	0,077±0,022 b	0,069±0,018 b	0,045±0,013 ab	0,025±0,006 a

Distintas letras expresan diferencias significativas entre tratamientos de un mismo muestreo y ensayo, para un 95 % de confianza ($p < 0,05$) mediante el test de las menores diferencias significativas (LSD) de Fisher.

En la tabla 43 se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos desde el muestreo 2, lo que indica que la concentración de nitratos de la solución nutritiva influye en RGR.

Gráfico 39. Tasa de crecimiento relativo de la variedad Asten expresada en $\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, para cada tratamiento realizado (T1 = 2 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T2 = 4 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T3 = 8 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$; T4 = 12 $\text{mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$), para los ensayos realizados en invierno y primavera.



Las líneas continuas pertenecen al ensayo 1 y las discontinuas al ensayo 2.

En el gráfico 39 comprobamos que el muestreo 2 marca un punto máximo en el ensayo de primavera en todos los tratamientos menos en T1, que llega al final del ciclo aumentando gradualmente.

Las plántulas del ensayo de invierno alcanzan el punto de máximo crecimiento relativo entre los muestreos 2 y 3, con la salvedad del tratamiento 3 que tiene su máximo en el muestreo 2.

En primavera, a mayor concentración de nitratos, obtenemos valores más altos en los puntos de máxima tasa de crecimiento relativo; en cambio, en invierno las diferencias entre estos niveles máximos son pequeñas, del orden de $0,01 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$.

DISCUSIÓN:

Todas las variedades presentan niveles más altos en los picos de máxima tasa de crecimiento relativa con el tratamiento 4 de primavera. Sin embargo, en los gráficos apreciamos que se alcanzan tasas más altas de crecimiento relativo en invierno que en primavera para los tratamientos 1, 2 y 3.

Concentraciones crecientes de nitratos en la solución nutritiva favorecen RGR de col china en el ensayo de primavera, mientras que en invierno provocan el efecto contrario.

En brócoli, según el estudio mencionado en apartados anteriores, esta relación es positiva tanto en primavera como en invierno.

Este efecto difiere de los resultados obtenidos en plántulas de pimiento por De Grazia *et al.* (2011), donde RGR no presentaba diferencias significativas con el incremento de nitrógeno en el medio de crecimiento.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Sobre la eficiencia en el uso de nitratos concluimos:

- En invierno, la variedad Elliot es la que presenta mayor eficiencia; le siguen en orden decreciente Kasumi, 9164 y Asten.
- En primavera, Elliot es también la variedad más eficiente; le siguen 9164, Kasumi y ocupando el último lugar, Asten, que comparada con las demás tiene una eficiencia aproximada del 50%.
- Todas las variedades muestran mayor eficiencia en el ensayo de primavera.

En lo que a calidad pre-trasplante se refiere, podemos concluir:

- Las plántulas de mayor calidad en el ensayo de primavera han sido las de la variedad 9164, pues presentan mayor producción de biomasa y una mejor distribución de ésta entre la parte aérea y radical. Le siguen en orden decreciente Elliot, Kasumi y Asten.
- En el ensayo de invierno, las plántulas de la variedad Elliot presentan mejor calidad pre-trasplante. Le siguen en orden decreciente las variedades 9164, Kasumi y Asten.
- En el rango estudiado, una concentración de $12 \text{ mmol NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ en la solución nutritiva produce plántulas de col china de mejor calidad en semillero y en menos tiempo.
- En vista de los resultados obtenidos, no podemos saber cuál es la concentración óptima; es posible que esté por encima de la máxima empleada en este trabajo, con lo que podría ser interesante probar con concentraciones superiores en un futuro estudio.
- En el ensayo de primavera, las plántulas crecen más rápido que en invierno y alcanzan mayores niveles de biomasa, lo que indica la gran influencia del clima y fotoperiodo sobre el crecimiento de la col china.

6. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Abad, M. 1991. Los sustratos hortícolas: características y manejo. II Congreso Nacional de Fertirrigación. Almería p.1-15. Almería.

Abad, M. Martínez, P.F. Martínez, M.D. and Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de Horticultura 11:p.141-154. Madrid.

Abad, M. and Noguera, P. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. p. 289-340. In: C. Cadahia (ed.), Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales, Mundiprensa, Madrid.

Abad, M. Noguera, P. and Noguera, V. 1995. Turbas para semilleros. II Jornadas sobre semillas y semilleros hortícolas. Almería 29-31 de Mayo de 1995. P.81-101. Sevilla.

Aguado, G. Del Castillo, J.A. Sanz de Galdeano, J. Uribarri, A. and Sádaba, S. 2005. Manejo de semilleros. Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias, p.7. Navarra.

Alt, C. Kage, H. and Stützel, H. 2000. Modelling nitrogen content and distribution in cauliflower (*Brassica oleracea L. botrytis*). Annals of Botany 86:5:p.963-973.

Alt, D. 1980. Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth-an important factor in soilless culture. International Society for Soilless Culture: Proceedings, Fifth International Congress on Soilless Culture. P.97-109.

Andreu, J. Betrán Aso, J. Delgado Enguita, I. Espada Carbó, J.L. Gil Martínez, M. Gutiérrez López, M. Iguácel Soteras, F. Isla Climente, R. Muñoz Pérez, F. and Orús Pueyo, F. 2006. Fertilización nitrogenada. Guía de actualización. Informaciones técnicas/Centro de Transferencia Agroalimentaria Número extraordinario: p.197 pp.

Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa, p.172. Bilbao.

Ascencio, J. and Fargas, J. 1973. Análisis del crecimiento del fríjol (*Phaseolus vulgaris* L., var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23:4:p.420-428. Turrialba, Costa Rica. CATIE.

Aulakh, M.S. and Malhi, S.S. 2004. Fertilizer nitrogen use efficiency as influenced by interactions with other nutrients. Agriculture and the nitrogen cycle. SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment) 65:p.181-191.

Behling, J.P. Gabelman, W. and Gerloff, G. 1989. The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. Plant Soil 113: 2: p.189-196.

Bennie, A.T.P. 1991. Growth and mechanical impedance. p. 393-414. In: Y. Waisel A. Eshel and U. Kafkafi (eds.), Plant Roots the Hidden Half, Marcel Dekker, Inc., New York, NY.

Biscoe, P. and Jaggard, K. 1985. Measuring plant growth and structure. Instrumentation for Environmental Physiology. 215-228.

Blackman, F. 1905. Optima and limiting factors. Annals of Botany 2:p.281-296.

Booij, R. Kreuzer, A.D.H. Smit, A.L. and Van Der Werf, A. 1996. Effect of nitrogen availability on dry matter production, nitrogen uptake and light interception of Brussels sprouts and leeks. Neth.J.Agric.Sci. 44:1:p.3-19.

Braun, E. United Nations Environment Programme Woods Hole Research Center and International Nitrogen Initiative. 2007. Reactive nitrogen in the environment: too much or too little of a good thing. Paris: UNEP DTIE, Sustainable Consumption and Production (SCP) Branch; Falmouth, MA: Woods Hole Research Center, p.56. Paris; USA.

Brouder, S. and Cassman, K. 1990. Root development of two cotton cultivars in relation to potassium uptake and plant growth in a vermiculitic soil. Field Crops Res. 23:3:p.187-203.

Bruulsema, T. Fixen, P. and Snyder, C. 2004. Fertilizer nutrient recovery in sustainable cropping systems. Better Crops 88:4:p.15-17.

Bunt, A. 1988. Media and mixes for container-grown plants. (A manual on the preparation and use of growing media for pot plants). Springer Netherlands, p.309. London.

Buttery, B. and Buzzell, R. 1988. Soybean leaf nitrogen in relation to photosynthetic rate and yield. Canadian Journal of Plant Science 68:3:p.793-795. Ottawa, Canada.

Camacho Ferre, F. 2008. Instalaciones de semilleros especializados en la cría de plantas hortícolas. Horticultura: Revista de industria, distribución y socio economía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros1:p.62-69.

Casierra-Posada, F. Barreto, V.E. and Fonseca, O.L. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. Conservero) en los altiplanos colombianos. Agronomía Colombiana 22:1:p.40-45.

Cassman, K.G. Dobermann, A. and Walters, D.T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. AMBIO: A Journal of the Human Environment 31:2:p.132-140.

Cataldo, D. Maroon, M. Schrader, L. and Youngs, V. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid 1. Communications in Soil Science & Plant Analysis 6:1:p.71-80.

Cerdá, A. 1993. Solución nutritiva. Principios básicos: Comportamiento e interacción de los distintos elementos. p. 131-144. In: Centro de Investigación y Desarrollo Hortícola (ed.), Curso superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo, Centro de Investigación y Desarrollo Hortícola. Instituto de Estudios Almerienses. Almería, ES.

Chauvet, M. 1970. Les choux chinoux: un produit d'avenir. p. 210. In: mous Maroto, J. V. Elementos de horticultura general, Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Chen, J. Ito, T. and Shinohara, Y. 2002. Effects of cell shape of plug trays on shoot and root growths of Chinese cabbage [*Brassica campestris* L. (pekinensis group)] transplants. J.Jpn.Soc.Hortic.Sci. 71:5:p.617-622.

Colla, G. Roupshael, Y. Mirabelli, C. and Cardarelli, M. 2011. Nitrogen - use efficiency traits of mini - watermelon in response to grafting and nitrogen - fertilization doses. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 174:6:p.933-941.

Consejería Agricultura y Pesca. 2012. Memoria anual de la Consejería de Agricultura y Pesca 2009. Secretaría General Técnica. Servicio de Publicaciones y Divulgación, Sevilla.

Cregg, B. Rios, C. Hart, J. and Briggs, D. 2004. Fate of nitrates in field nursery production systems. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations 2003. Coeur d'Alene, ID. 2003 June 9–12. P.50-54.U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

De Grazia, J. Tittonell, P.A. and Chiesa, Á. 2011. Fertilización nitrogenada en plantines de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivados en sustratos con diferentes proporciones de materiales compostados: efecto sobre los parámetros de calidad del plantín. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 43:1:p.175-186. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Delucia, E. Sipe, T. Herrick, J. and Maherali, H. 1998. Sapling biomass allocation and growth in the understory of a deciduous hardwood forest. Am.J.Bot. 85:7:p.955-955.

Dibb, D.W. 2000. The mysteries (myths) of nutrient use efficiency. Better Crops 84:3:p.3-5.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency—measurement and management. Fertilizer Best Management Practices.General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulationsp. p. 8-28. Paris, France.

Dufault, R. 1986. Influence of nutritional conditioning on muskmelon transplant quality and early yield. J.Am.Soc.Hort.Sci. 111:5:p.698-703.

Dufault, R.J. 1998. Vegetable Transplant Nutrition. HortTechnology 8:4:p.515-523.

Durany Carol, U. 1982. Hidroponía. Cultivo de plantas sin tierra. Editorial Sintesis S.A., p.106. Barcelona.

Ekbladh, G. and Witter, E. 2010. Determination of the critical nitrogen concentration of white cabbage. *Eur.J.Agron.* 33:4:p.276-284.

Ekbladh, G. Witter, E. and Ericsson, T. 2007. Ontogenetic decline in the nitrogen concentration of field grown white cabbage-Relation to growth components. *Scientia Horticulturae* 112:2:p.149-155.

Elers, B. and Wiebe, H.J.1. 1984. Flower formation of chinese cabbage (I, II). p. 210. In: mous MAROTO, J. V. Elementos de horticultura general, Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Ellis, C. Swaney, M. Eastwood, T. and de la Rubia Pacheco, Jesús. 1967. Soilless growth of plants. *Interciencia*, p.371. Madrid, España.

Endo, A. Mishima, S. and Kohyama, K. 2013. Nitrate percolation and discharge in cropped Andosols and Gray lowland soils of Japan. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 95:1:p.1-21. Dordrecht, Netherlands.

Erley, G.S. Dewi, E.R. Nikus, O. and Horst, W.J. 2010. Genotypic differences in nitrogen efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea L.*). *Plant Soil* 328:1:p.313-325.

European Food Safety Authority. 2008. Nitrate in vegetables Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *The EFSA Journal* (2008) 689:p.1-79.

Evans, G.C. 1972. The quantitative analysis of plant growth. Blackwell Scientific Publications, p.734. Oxford.

Evans, G. and Hughes, A. 1962. Plant growth and the aerial environment. III. On the computation of unit leaf rate. *New Phytol.* 61:3:p.322-327.

Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C 3 plants. *Oecologia* 78:1:p.9-19.

Evans, R.Y. Smith, S.J. and Paul, J.L. 2008. Nitrogen critical level determination in the woody ornamental shrub *Euonymus fortunei*. *J.Plant Nutr.* 31:12:p.2075-2088.

Everaarts, A.P. 1993. Strategies to improve the efficiency of nitrogen fertilizer use in the cultivation of Brassica vegetables. *Acta Hort. (ISHS)* 339:p.161-173.

Everaarts, A. and De Moel, C. 1998. The effect of nitrogen and the method of application on yield and quality of white cabbage. *Eur.J.Agron.* 9:2:p.203-211.

Everaarts, A. and Van Den Berg, W. 1995. A comparison of three nitrogen response models for cauliflower. *Ecological aspects of Vegetable Fertigation in Integrated crop Production in the Field* 428 p.171-180.

Everaarts, A.P. and Booij, R. 2000. The effect of nitrogen application on nitrogen utilization by white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) and on nitrogen in the soil at harvest. *J.Hortic.Sci.Biotechnol.* 75:6:p.705-712.

Feller, C. and Fink, M. 1998. Estimation of nitrogen uptake of field vegetables. Proceedings of the International Workshop on Ecological Aspects of Vegetable Fertilization in Integrated Crop Production. Wellesbourne, Warwick, United Kingdom 27-31 July 1998. P.117-122. Leuven, Belgium.

Fukuoka, N. Yoshioka, H. Shimizu, E. and Fujiwara, T. 1996. Effect of shading cabbage seedlings on their physiological processes and rooting ability after transplanting to the nursery. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 65:3:p.545-551.

García Morales, C. Gaytán, T. Oswaldo, R. López Sánchez, H. López, P.A. Mora Aguilera, G. and Tlapal Bolaños, B. 2011. Calidad de plántulas de chile 'poblano' en la Sierra Nevada de Puebla, México. *Revista fitotecnia mexicana* 34:2:p.115-121.

Garnier, E. and Aronson, J. 1998. Nitrogen-use efficiency from leaf to stand level: clarifying the concept. p. 515-538. In: H. Lambers H. Poorter and M. Van Vuuren (eds.), *Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

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

George, R. 1983. Guía para la tecnología de las semillas de hortalizas. FAO, p.94. Roma.

Geraud, F. Chirinos, D. Marín, M. and Chirinos, D. 1995. Desarrollo de la planta de tomate, (*Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande) en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. *Rev.Fac.Agron. Universidad del Zulia* 12:p.15-23. Maracaibo, Venezuela.

Giambalvo, D. Ruisi, P. Di Miceli, G. Frenda, A.S. and Amato, G. 2010. Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. *Agron.J.* 102:2:p.707-715.

Gianquinto, G. and Arcella, C. 1989. Un biennio di sperimentazione sulle modalità di elevamento in vivaio di piantine di cetriolo: riflessi sulla produzione in coltura protetta anticipata. 1st National Congress on "Il Vivaismo orticolo, aspetti tecnici, organizzativi e commerciali". Foggia, Italy 4-5 May 1989. Rome, Italy.

Gil, N. 2005. Bandejas de semillero. In: I. Cuadrado M. García and M. Fernández (eds.), *Dirección técnica de semilleros hortícolas. Curso de especialización*, FIAPA, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, y ASEHOR, Almería.

Godwin, D. and Blair, G. 1991. Phosphorus efficiency in pasture species. V. A comparison of white clover accessions. *Crop and Pasture Science* 42:3:p.531-540.

Gómez, J. 1993. Sanidad fúngica de los semilleros. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía., p.26. Sevilla.

Gordon, W. 2005. Maximizing irrigated corn yields in the Great Plains. *Better Crops* 89:2:p.8-10.

Graham, R.D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. p. 57-102. In: P.B. Tinker and A. Läuchli (eds.), *Advances in plant nutrition*, Vol. 1. Praeger, New York.

Granados, M. Thompson, R. Fernández, M. Gallardo, M. and Gázquez, J. 2005. Uso de sondas de succión para el manejo de la fertilización nitrogenada en un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. *Sistemas de Recomendación de Abonado*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) 4-6 octubre. P.79-85. Córdoba, España.

Greenwood, D.J. Gastal, F. Lemaire, G. Draycott, A. Millard, P. and Neeteson, J.J. 1991. Growth rate and % N of field grown crops: Theory and experiments. *Ann.Bot.* 67:2:p.181-190.

Gregory, P. Tennant, D. and Belford, R. 1992. Root and shoot growth, and water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a Mediterranean-type environment. *Crop and Pasture Science* 43:3:p.555-573.

Guler, H. Olympios, C. and Gerasopoulos, D. 1993. The effect of the substrate on the fruit quality of hydroponically grown melons (*Cucumis melo*, L). *International Symposium on Quality of Fruit and Vegetables: Influence of Pre-and Post-Harvest Factors and Technology* 379. P.261-266.

Gutschick, V. 1993. Nutrient-limited growth rates: roles of nutrient-use efficiency and of adaptations to increase uptake rate. *J.Exp.Bot.* 44:1:p.41-51.

Guzmán, M. 2011. Crecimiento y desarrollo. p. 1-10. In: *mos Cultivo protegido de solanáceas y cucurbitáceas*. PAIDI-UAL, Universidad de Almería.

Guzmán, M. Arcos, F. and Sánchez, A. 2003. Response of tomato transplant to nitrate phosphate conditioning: Effects on development, growth and early yield. *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*. Pisa, Italy p.213-217.

Guzmán, M. and Sánchez, A. 2003. Influence of nitrate and calcium increments on development, growth and early yield in sweet pepper plants. *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*. Pisa, Italy p.207-211.

Hák, R. and Nátr, L. 1987. Effect of nitrogen starvation and recovery on gas exchange characteristics of young barley leaves. *Photosynthetica* 21:p.9-14.

Handreck, K.A. and Blanck, N.D. 2002. Growing media ornamental plants and turf. New South Wales University press. p.448. Sydney, Australia.

Hedge, D. 1986. Effect of irrigation regimes on dry matter production, yield, nutrient uptake and water use of onion. *Indian J.Agron* 31:p.343-348.

Hernández, R. 2001. Influencia de distintas concentraciones de nitratos en distintos cultivares de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica (Plenck). Universidad de Almería.

Herrera, F. Castillo, J. Chica, A. and López Bellido, L. 2009. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresour.Technol.* 99:2:p.287-296.

Hirose, T. 1988. Modelling the relative growth rate as a function of plant nitrogen concentration. *Physiol.Plantarum* 72:1:p.185-189.

Hodgson, G.L. 1967. Physiological and Ecological Studies in the Analysis of Plant Environment: XIII. A Comparison of the Effects of Seasonal Variations in Light Energy and Temperature on the Growth of *Helianthus annuus* and *Vicia faba* in the Vegetative Phase. *Annals of Botany* 31:2:p.291-308.

Horst, W. Curre, C. and Wissemeier, A. 1992. Differences in calcium efficiency between cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivars. *Plant Soil* 146:1-2:p.45-54.

Hoyos, E.P. 1995. Parámetros de calidad en plántulas hortícolas. II Jornadas sobre semillas y semilleros hortícolas. Almería 29-31 de Mayo de 1995. P.53-77. Sevilla.

Hoyos, V. Rodríguez, M. Cárdenas Hernandez, J. and Balaguera López, H. 2009. Growth analysis of spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants under the effect of different sources and doses of nitrogen. *Colombian Journal of Horticultural Science* 3:p.175-187. Las Palmas, Parque Central Bavaria, Bogotá, Colombia.

Huang, J. Wu, Z. and Guo, S.R. 2006. Effects of low light intensity on photosynthetic capacity, photosynthetic nitrogen utilization efficiency and nitrogen partition in non-heading Chinese cabbage leaves. 761 p. 235-242.

Hull, J. and Mooney, H. 1990. Effects of nitrogen on photosynthesis and growth rates of four California annual grasses. *Acta Oecol.* 11:4:p.453-468.

Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. The Institute of Biology' s Studies in Biology No. 9. Arnold, London.

Hunt, R. Causton, D.R. Shipley, B. and Askew, A. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90:4:p.485-488.

Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Ltd., p.248.

Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman Ltd, p.112. Boston.

Isherwood, K. and Maene, L. 1990. The medium term outlook for the supply and demand of fertilizers and raw materials. IFA PublicationA/90/63b: p.24 pp.

Jiménez, S. Alés, J.I. Lao, M.T. Plaza, B. and Pérez, M. 2006. Evaluation of nitrate quick tests to improve fertigation management. Commun.Soil Sci.Plant Anal. 37:p.2461-2469.

Jones, J.B. 2005. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower. CRC Press Llc, 1p.439.

Juntunen, M. Hammar, T. and Rikala, R. 2003. Nitrogen and phosphorus leaching and uptake by container birch seedlings (*Betula pendula* Roth) grown in three different fertilizations. New Forests 25:2:p.133-147.Netherlands.

Justes, E. Mary, B. Meynard, J.M. Machet, J.M. and Thelier-Huche, L. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. Ann.Bot. 74:4:p.397-407.

Kage, H. Alt, C. and Stutzel, H. 2003. Aspects of nitrogen use efficiency of cauliflower I. A simulation modelling based analysis of nitrogen availability under field conditions. The Journal of Agricultural Science 141:1:p.1-16.

Kirkby, E. 1968. Influence of Ammonium and Nitrate Nutrition on the Cation-Anion Balance and Nitrogen and Carbohydrate Metabolism of White Mustard Plants Grown in Dilute Nutrient Solutions. Soil Sci. 105:3:p.133-141.

Klapwijk, D. 1986. Production of tomato transplants in the Netherlands. Symposium on tomato production on arid land. Cairo, Egypt December 9-15, 1984. P.505-510. Universidad de Wisconsin - Madison.

Krizek, D.T. Carmi, A. Mirecki, R.M. Snyder, F., W and Bunce, J. 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. J.Exp.Bot. 36:1:p.25-38.

Krug, H. 1997. Environmental influences on development, growth and yield. p. 101-180. In: H.C. Wien (ed.), The physiology of vegetable crops, CAB International, Oxford.

Krug, H. and Fölster, E. 1976. Influence of the environment on growth and development of chives *Allium schoenoprasum* L. I. Induction of the rest period. Scientia Horticulturae 4:3:p.211-220.

Laguna, G.E. 2012. Evaluación de diferentes dosis de fertilizante completo NPK 15-30-15, en *Cucumis Sativus L.* en etapa de plántula. Universidad Nacional de Ingeniería UNI-RUACS, p.30. Estelí (Nicaragua).

Lallana, V.H. Lallana, M.d.C. and Sabattini, R.A. 2004. Unidad temática 7: Crecimiento. Cátedra de Fisiología Vegetal, p.21. Fac. Cs. Agropecuarias, UNER.

Lappalainen, E. 1996. Global Peat Resources. International Peat Society, p.359. Jyskä (Finland).

León, G.H.M. 1988. Enfermedades de los cultivos en el estado de Sinaloa. INIA. SARH. p.262. Culiacán, Sinaloa, México.

Leopold, A. and Kriedemann, P. 1975. Plant growth and development. 2nd edn. 545 pp.

Leskovar, D.I. Cantliffe, D.J. and Stoffella, P.J. 1991. Growth and yield of tomato plants in response to age of transplants. *J.Am.Soc.Hort.Sci.* 116:3:p.416-420.

Levitt, J. 1990. Stress interactions—back to the future. *HortScience* 25:11:p.1363-1365.

Liñán Carral, C.d. and Liñán Vicente, C.d. 2012. Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales 2012. Ediciones Agrotécnicas, p.810. Madrid.

López-Aparicio, D. 2005. Estructuración y dinámica de un semillero hortícola. p. 9-24. In: I. Cuadrado M. García and M. Fernández (eds.), Dirección técnica de semilleros hortícolas. Curso de especialización. FIAPA, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, y ASEHOR, Almería.

Lorenz, H.P. and Wiebe, H.J. 1980. Effect of temperature on photosynthesis of lettuce adapted to different light and temperature conditions. *Scientia Horticulturae* 13:2:p.115-123.

Losada, A. 2009. El riego. Fundamentos hidráulicos. Mundi-Prensa Libros, S.A., p.461. Madrid.

Lozano, F.G. 1983. Normas e instrucciones sobre riego por aspersion. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1983, p.153. (Madrid), España.

Lynch, J. 1998. The role of nutrient-efficient crops in modern agriculture. *J.Crop Prod.* 1:2:p.241-264.

Magnifico, S.S. Gan, J. Wu, L. Lu, J. Newman, J.P. Faber, B. Merhaut, D.J. and Evans, R. 2008. Detention and recycling basins for managing nutrient and pesticide runoff from nurseries. *HortScience* 43:2:p.393-398.

Mahler, B.J. and Garner, B.D. 2009. Using nitrate to quantify quick flow in a karst aquifer. *Ground Water* 47:3:p.350-360.

Manrique, L.A. 1990. Plant morphology of cassava during summer and winter. *Agron.J.* 82:5:p.881-886.

MAPYA. 2013. Productos existentes para utilizar en semilleros.

Marfá, O. Martínez, A. Orozco, R. Serrano, L. and Martinez, F. 1993. The use of fine-grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. International Symposium on Horticultural Substrates other than Soil in situ. Florence, Italy p.339-348.

Marín, J. 2000. Portagrano 2000. Vademécum de Variedades Hortícolas. Gráficas ALPE., p.364. Berja (Almería), España.

Marín, J. 2010. Portagrano Edición 2010 - 2011. Vademecum de variedades hortícolas. Editorial Agrícola Española S.A., p.412. Madrid.

Marín, J. 2013. Portagrano Edición 2013 - 2014. Vademecum de variedades hortícolas. Editorial Agrícola Española S.A., p.436. Madrid.

Markovic, V. Djurovka, M. and Ilin, Z. 1996. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. I Balkan Symposium On Vegetables and Potatoes 462. P.163-170.

Maroto Borrego, J.V. 2002. Horticultura herbácea especial. Mundi-Prensa, p.702. Madrid.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, p.889. London.

Martí, L. 2011. Agronomía General y Ambiental. Dpto. de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo, p.507. Mendoza, Argentina.

Martínez, V. 1993. Dinámica de absorción: factores de influencia sobre las concentraciones de absorción iónica de los elementos. p. 147-161. In: Curso superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo, Instituto de Estudios Almerienses, Almería (España).

Masson, J. Tremblay, N. and Gosselin, A. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. Transplant growth. *J.Am.Soc.Hort.Sci.* 116:4:p.594-598.

Maynard, D.N. and Barker, A.V. 1969. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*94:p.235-239.

Mengel, K. Hütsch, B. and Kane, Y. 2006. Nitrogen fertilizer application rates on cereal crops according to available mineral and organic soil nitrogen. *Eur.J.Agron.* 24:4:p.343-348.

Merino, D. and Ansorena, F.J. 1993. Recomendaciones para el cultivo de hortalizas con bajo contenido en nitratos. *Horticultura*90:p.11-21.

Moll, R. Kamprath, E. and Jackson, W. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron.J.* 74:3:p.562-564.

Morales, C.G. Gaytán, O.R.T. Sánchez, H.L. López, P.A. Aguilera, G.M. and Bolaños, B.T. 2011. Seedling quality of 'poblano' pepper in the sierra nevada of Puebla, México. *Rev.Fitotec.Mex.* 34:2:p.115-121.

Muñoz Ramos, J.J. 2002. Acondicionamiento nutritivo de plántulas de tomate y pimiento en semillero y su respuesta postransplante. Universidad de Almería, Almería.

Nakamura, E. 1976. Culture of Chinese Cabbage in Japan. p. 210. In: Mous Maroto, J. V. Elementos de horticultura general, Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Narvaez, L. Caceres, R. and Marfa, O. 2012. Effects of climate and fertilization strategy on nitrogen balance in an outdoor potted crop of *Viburnum tinus* L. *Span.J.Agric.Res.* 10:2:p.471-481.

Nátr, L. 1992. Mineral nutrients - a ubiquitous stress factor for photosynthesis. *Photosynthetica* 27:p.271-294. Dordrecht, Netherlands.

Nečas, J. 1965. Application of growth analysis to potatoes in field culture and some specific features of potato growth. *Biologia Plantarum* 7:3:p.180-193.

Ohyama, K. Fujiwara, M. Kozai, T. and Kimura, H. 2000. Growth and Development of Transplants in a Closed-type Transplant Production System. 2000 ASAE Annual International Meeting, Technical Papers: Engineering Solutions for a New Century. Milwaukee, WI. 9 July 2000 through 12 July 2000. P.4431-4440.

Olesen, J.E. Berntsen, J. Hansen, E.M. Petersen, B.M. and Petersen, J. 2002. Crop nitrogen demand and canopy area expansion in winter wheat during vegetative growth. *Eur.J.Agron.* 16:4:p.279-294.

Olson, R.A. Army, T.J. Hanway, J.J. and Kilmer, V.J. 1971. Fertilizer technology & use.p.611.

Osmond, C. Austin, M. Berry, J. Billings, W. Boyer, J. Dacey, J. Nobel, P. Smith, S. and Winner, W. 1987. Stress physiology and the distribution of plants. *Bioscience* 37:1:p.38-48.

Ozanne, P. Keay, J. and Biddiscombe, E. 1969. The comparative applied phosphate requirements of eight annual pasture species. *Crop and Pasture Science* 20:5:p.809-818.

Pellicer, M. Rincón, L. and Sáez, J. 1995. Las soluciones nutritivas. *HF Hortoinformación (España)* 6:3:p.39-44.

Pérez Melián, G. 1977. Hidroponía: solución nutritiva. Xoba: revista de agricultura 1:1:p.10-12. Las Palmas de Gran Canaria.

Peron, J. and Lefebvre, J. 1984. Fertilization and irrigation in relation to the quality of vegetables. Symposium on Quality of Vegetables 163. P.283-294.

Pimpini, F. and Gianquinto, G. 1991. Primi risultati sulle modalità di allevamento in vivaio di piantina di pomodoro da industria. Riflessi su accrescimento e produzione in campo. 1st National Congress on "Il Vivaismo orticolo, aspetti tecnici, organizzativi e commerciali". Foggia, Italy. 4-5 May 1989. Rome, Italy.

Pina Lorca, J.A. 2008. Propagación de plantas. Valencia.: Departamento de Producción Vegetal, Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología, Universidad Politécnica de Valencia, p.413.

Posadas, S.F. 1999. Propiedades y características de los sustratos. Turba y fibra de coco. Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo II. Almería 18-29 Octubre 1999. P.590. Almería.

Powlson, D. 1993. Understanding the soil nitrogen cycle. Soil Use Manage. 9:3:p.86-94.

Pressman, E. and Aviram, H. 1986. Inhibition of flowering in Chinese cabbage by applying heat and growth retardants to transplants. Plant Growth Regul 4:1:p.87-94.

Puustjärvi, V. 1994. La turba y su manejo en horticultura. Ediciones de horticultura, S.L., p.123. Madrid.

Radford, P. 1967. Growth analysis formulate their use and abuse. Crop Sci. 7:3: p.171-175.

Ramos Mompo, C. and Ocio Armentia, J.A. 1992. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación,

Raviv, M. Chen, Y. and Inbar, Y. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for containergrow plants. p. 257-287. In: Y. Chen and Y. Avnimelech (eds.), The Role of Organic Matter in Modern Agriculture, Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht.

Reche Mármol, J. 1994. Cultivo de la sandía en invernadero. Almería.

Resh, H.M. 1992. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa,p.369. Madrid.

Rincón, L. Pérez, A. Pellicer, C. Sáez, J. and Abadía, A. 2002. Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. Invest.Agr.: Prod.Prot.Veg 17:p.2-16.Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (CIDA). Estación Sericícola. La Alberca (Murcia).

Romero, J.L. 1998. Eficiencia de nitratos en plántulas de lechuga. Universidad de Almería, p.175. Almería.

Rosca, V. 2009. Optimization of nitrogen concentration in the fertilization solution for production of seedlings in cell trays. International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate. Antalya, Turkey April 6-11, 2008. P.613-618. Universidad de Wisconsin, Madison.

Ruiz, J.M. Rivero, R.M. Cervilla, L.M. Castellano, R. and Romero, L. 2006. Grafting to improve nitrogen - use efficiency traits in tobacco plants. J.Sci.Food Agric. 86:6:p.1014-1021.

Sallaku, G. Bani, A. and Balliu, A. 2009. The Effects of N Concentration in Pre-Transplant Nutrient Solution on the N Use Efficiency and Dry Mass Partitioning of Vegetable Solanaceae Seedlings. Iv Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes 830:p.405-411. Leuven, Belgium.

Santamaría, P. Ventrella, D. Magnifico, V. and Serio, F. 1993. Accrescimento, produzione e accumulo dei nitrati in spinacio (*Spinacia oleracea L.*) concimato con fertilizzante minerale e organo-minerale [Puglia]. Rivista di Agronomia 27.

Scharpf, H. and Weier, U. 1995. Investigations on the nitrogen dynamic as a basis for the N fertilizer recommendations in vegetable production. Acta Hort. (ISHS) 428:p.73-84.

Schenk, M.K. 2006. Nutrient efficiency of vegetable crops. International Symposium Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production. Perugia, Italy p.21-34.

Schulze, E. and Chapin III, F. 1987. Plant specialization to environments of different resource availability. p. 120-148. In: E.-. Schulze and H. Zwölfer (eds.), Potentials and limitations of ecosystem analysis, Vol. 61. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Scully, B. and Wallace, D. 1990. Variation in and relationship of biomass, growth rate, harvest index, and phenology to yield of common bean. J.Am.Soc.Hort.Sci. 115:2:p.218-225.

Sedan, D. Andrinolo, D. Telese, L. Giannuzzi, L. de Alaniz, M.J. and Marra, C.A. 2010. Alteration and recovery of the antioxidant system induced by sub-chronic exposure to microcystin-LR in mice: Its relation to liver lipid composition. Toxicon 55:2:p.333-342.

Shober, A.L. Wiese, C. Denny, G.C. Stanley, C.D. and Harbaugh, B.K. 2011. Plant Performance and Nutrient Losses during Containerized Landscape Shrub Production using Composted Dairy Manure Solids as a Peat Substitute in Substrate. HortTechnology 21:2:p.240-245. Alexandria, USA.

Shoji, S. and Kanno, H. 1994. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. Fertilizer Research 39:2:p.147-152.

Stewart, W. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas* 67:p.1-6.

Stewart, W.M. and Roberts, T.L. 2012. Food Security and the Role of Fertilizer in supporting it. *Symphos 2011 - 1st International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry* 46:p.76-82. Amsterdam, Netherlands.

Strasburguer, E. Noll, F. Schenck, H. Schimper, A.F.W. Von Denffer, D. Ehrendorfer, F. Bresinsky, A. and Ziegler, H. 2004. *Tratado de Botánica*. Omega, S.A., p.1152. Barcelona.

Tarjuelo Martín-Benito, J. 2005. *El riego por aspersión y su tecnología*. Mundi-Prensa. Madrid. ES, p.569.

Terashima, I. and Evans, J.R. 1988. Effects of Light and Nitrogen Nutrition on the Organization of the Photosynthetic Apparatus in Spinach. *Plant and Cell Physiology* 29:1:p.143-155.

Tesi, R. 1987. *Principi di orticoltura e ortaggi d'Italia*. Edagricole, p.340. Bologne, Italia.

Thompson, R. Martinez-Gaitan, C. Gallardo, M. Giménez, C. and Fernández, M. 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric.Water Manage.* 89:3:p.261-274.

Thorne, G.N. 1961. Effects of Age and Environment on Net Assimilation Rate of Barley. *Annals of Botany* 25:1:p.29-38.

Thorne, N. Ford, M. and Watson, D.J. 1968. Growth, Development, and Yield of Spring Wheat in Artificial Climates. *Annals of Botany* 32:2:p.425-446.

Urrestarazu, M. Guzmán, M. Sánchez, A. Salas, M.C. and Lorente, F.A. 1999. Effect of evolution in the increase the nutrient solution electrical conduction on quality parameters of tomato seedlings. *Sixth International ISHS Symposium on the Processing Tomato: and the Workshop on Irrigation and Fertigation of Processing Tomato*. Pamplona, Spain 25-29 May, 1998. p.213-218.

Václavík, J. 1968. Effect of different constant soil moisture levels on net assimilation rate, relative transpiration, osmotic pressure of cell sap and water saturation deficit of the leaves. *Biologia Plantarum* 10:3: p.222-233.

Van Dobben, W. 1963. The physiological background of the reaction of peas to sowing time. *Meded Inst. Bio. Scheik. Onderz. Landbougerwase, Wageningen* 1963: p.41-49.

Vasander, H. 1996. *Peatlands in Finland*. Finnish Peatland Society. 10, p.168. Helsinki (Finland).

Vincenzoni, A. 1980. Research problems concerning flower and vegetable cultivation in a cold greenhouse using the "Colonna di coltura" technique.98:p.263-268. Littlehampton, United Kingdom.

Warsaw, A.L. Fernandez, R.T. Kort, D.R. Cregg, B.M. Rowe, B. and Vandervoort, C. 2012. Remediation of metalaxyl, trifluralin, and nitrate from nursery runoff using container-grown woody ornamentals and phytoremediation areas. *Ecol.Eng.* 47:p.254-263.Amsterdam, Netherlands.

Watson, D. and Hayashi, K. 1965. Photosynthetic and respiratory components of the net assimilation rates of sugar beet and barley. *New Phytol.* 64:1:p.38-47.

Watson, D.J. and Witts, K.J. 1959. The Net Assimilation Rates of Wild and Cultivated Beets. *Annals of Botany* 23:3:p.431-439.

Welles, G.W.H. 1989. Diversification of the assortment of glasshouse vegetables: A review and look ahead. I International Symposium on Diversification of Vegetable Crops. Angers, France 26-30 September 1988. P.259-268.Universidad de Wisconsin, Madison.

Werner, R. and Leihner, D. 2006. Análisis del crecimiento vegetal. Editorial Universidad de Costa Rica, 7. p.37. San José, Costa Rica.

Wild, A. Jones, L. and Wild, A. 1992. Nutrición mineral de las plantas cultivadas. Ediciones Mundi-Prensa, p.73-119. Madrid.

Wilson, C. Albano, J. Mozdzen, M. and Riiska, C. 2010. Irrigation water and nitrate-nitrogen loss characterization in southern florida nurseries: Cumulative volumes, runoff rates, nitrate-nitrogen concentrations and loadings, and implications for management. *HortTechnology* 20:2:p.325-330.

Wilson, J.W. 1981. Analysis of Growth, Photosynthesis and Light Interception for Single Plants and Stands. *Annals of Botany* 48:4:p.507-512.

Wilson, P.C. and Albano, J.P. 2011. Impact of Fertigation versus Controlled-release Fertilizer Formulations on Nitrate Concentrations in Nursery Drainage Water. *HortTechnology* 21:2:p.176-180. Alexandria, USA.

Yang, J.-. Xu, K. Tong, E.-. Cao, B. Ni, X.-. and Xu, J.-. 2010. Effects of applying controlled-release fertilizer blended with conventional nitrogen fertilizer on Chinese cabbage yield and quality as well as nitrogen losses. *Chin.J.Appl.Ecol.* 21:12:p.3147-3153.