

SIMIENTE

VOLUMEN 77 (1-2) ENERO- JUNIO 2007



SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE

SIMIENTE

Fundada el 1 de Octubre de 1942

Órgano Oficial de Difusión de la Sociedad Agronómica de Chile

SIMIENTE se publica trimestralmente por la Sociedad Agronómica de Chile (SACH).

Los trabajos a presentar deben enviarse a:

Editor:

Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 6384881

Correo electrónico: sociedad.agronomica.chile@gmail.com

La preparación de los artículos debe ceñirse a las "Normas de publicación" que aparecen en las páginas II y III

Los socios activos de la SACH reciben la revista. Las suscripciones tienen un valor de:

Suscripción regular anual: \$ 10.000. Número individual: \$ 5.000

Suscripción anual para estudiantes de agronomía: \$ 7.500

Número individual: \$ 2.500

Suscripción anual para extranjeros (por correo) US \$ 40

Número individual: US \$ 15

Referencia bibliográfica SIMIENTE

Se autoriza la reproducción total o parcial de los trabajos publicados en SIMIENTE, siempre que se cite debidamente la fuente y los autores correspondientes

La SACH no se responsabiliza por las declaraciones y opiniones publicadas en SIMIENTE; ellas representan los puntos de vista de los autores de los artículos y no necesariamente los de la Sociedad Agronómica de Chile. La mención de productos o marcas comerciales no implica su recomendación por la SACH.

Sociedad Agronómica de Chile

Fundada el 28 de agosto de 1910

Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 6384881

Correo electrónico: sociedad.agronomica.chile@gmail.com

Diseño y Diagramación e Impresión:

Innovación Servicios Gráficos

insegraf@terra.cl

Consejo Directivo 2007

Presidente: Edmundo Acevedo H. Ing. Agr. Ph. D.

Vicepresidente: Gamalier Lemus S. Ing. Agr. Ms. Sc.

Tesorero: Alfredo Olivares E. Ing. Agr. Ph. D.

Secretaria: Ximena López C. Ing. Agr.

Consejeros:

Horst Berger S. Ing. Agr

Thomas Fichet L. Ing. Agr. Ph. D.

Silvia Galvez A. Ing. Agr

Rafael Novoa S-A. Ing. Agr. M. Sc. Ph. D.

Hernán Paillan L. Ing. Agr. Dr.

Manuel Pinto C. Ing. Agr. Ph. D.

Claudio Wernli K. Ing. Agr. Ph. D.

SIMIENTE

Representante Legal

Edmundo Acevedo H.

Ing. Agr. Ph. D.

Presidente SACH

Directora

Elena Dagnino D. Ing. Agr.

Subdirectora

Ximena López C. Ing. Agr.

Editora

Ljubica Galletti G. Ing. Agr.

Editores Asociados

Riego, Drenaje y Ciencias del suelo

Edmundo Acevedo H.

Ing. Agr. Ph. D.

Postcosecha y Agroindustria

Horst Berger S., Ing. Agr.

Economía Agraria y Desarrollo Rural

Rolando Chateaufneuf D.

Ing. Agr.

Entomología

Roberto González R.

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

Control de Malezas

Marcelo Kogan A.

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

Fitopatología

Bernardo Latorre G.

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

Fruticultura

Jorge Valenzuela.

Ing. Agr. Ph. D.

Producción Animal y Praderas

Claudio Wernli K.

Ing. Agr. Ph. D.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

SIMIENTE es el órgano oficial de difusión científica de la Sociedad Agronómica de Chile en el que se da a conocer los resultados de investigaciones científicas en el ámbito agropecuario, con el objeto de proporcionar información sobre el desarrollo científico-tecnológico del sector.

Los artículos para publicar en **SIMIENTE** deben ser originales, es decir no pueden haber sido publicados previa o simultáneamente en otra revista científica o técnica.

Los trabajos propuestos para publicación deben enviarse en forma electrónica vía correo electrónico, en un diskette 3 1/2 o CD y con cuatro copias, escritas a espacio y medio, letra Arial 12, en papel tamaño carta al Editor de la revista **SIMIENTE**, Mac Iver 120, oficina 36. Santiago. Chile.

Una vez aceptado el trabajo, el (los) autor (es) deberán incorporar las sugerencias de los revisores y remitir en disquete de 3 1/2, CD o correo electrónico, escrito con los procesadores de texto Word Perfect o Word, a 1 1/2 espacio, sin sangría. Las tablas y gráficos deben enviarse en archivos separados, señalándose en el texto su ubicación. Las fotos en blanco y negro, deben enviarse por separado, adecuadamente identificadas, en papel brillante y en aplicación de 12 x 18 cm.

Se recibirán trabajos para publicar en las siguientes secciones:

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, los cuales deben incluir los siguientes capítulos:

- I) **Resumen**, que debe contener una condensación de los objetivos, métodos, resultados y conclusiones principales.
- II) **Abstract**, traducción del Resumen al idioma inglés.
- III) **Palabras clave**, cinco como máximo, no usadas en el Título, que sirven como índices identificatorios. Puede incluirse nombres comunes y científicos de especies, sustancias, tecnologías, etc.
- IV) **Introducción**, revisión bibliográfica concisa, donde se indicará el objetivo e hipótesis de la investigación y su relación con otros trabajos relevantes (propios o de otros autores)
- V) **Materiales y Métodos**, descripción concisa de los materiales y Métodos usados en la investigación; si las técnicas o procedimientos han sido publicados anteriormente, mencionar sólo sus fuentes bibliográficas e incluir detalles que representan modificaciones sustanciales del procedimiento original.
- VI) **Resultados**. Se presentarán, en lo posible, en Tablas y/o Figuras, que deberán ser reemplazadas, cuando corresponda, por análisis estadístico, evitando la repetición y seleccionando la forma que en cada caso resulte adecuada para la mejor interpretación de los resultados.
- VII) **Discusión**. Debe ser breve y restringirse a los aspectos significativos del trabajo. En caso que, a juicio de los autores, la naturaleza del trabajo lo permita, los Resultados y la Discusión pueden presentarse en conjunto, bajo el título general de Resultados y Discusión.
- VIII) **Literatura citada**. Listado alfabético de las referencias bibliográficas utilizadas. (ver ejemplos en Normas de Estilo).

NOTAS TÉCNICAS. La estructura no está sujeta a lo establecido para los trabajos de investigación, por tratarse de notas cortas sobre avances de investigaciones, determinación de especies, descripción de métodos de investigación, etc. Sin embargo, debe incluir un Resumen, un Abstract y la Literatura Citada.

REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS. Trabajos de investigación Bibliográfica en la especialidad del autor y estructura libre. Debe incluir Resumen y Literatura Citada.

PUNTOS DE VISTA. Comprende artículos cortos de material de actualidad, revisiones de libros de reciente publicación, asistencia a Congresos, reuniones científicas e Índice de Revistas. Deben incluir Literatura Citada.

Además, **SIMIENTE** publicará los trabajos que se presenten en los Simposios o como trabajos libres de los Congresos de la SACH, u otras agrupaciones asociadas a la misma. Los Simposios y los trabajos de estructura libre, deben contener Resumen, Abstract y Literatura Citada, y los Resúmenes deben contener una condensación informativa de los métodos, resultados y conclusiones principales, señalando cuando corresponda, la fuente de financiamiento

NORMAS DE ESTILO

Título (español e inglés). Descripción concisa y única del contenido del artículo. El Título contendrá el superíndice (1) de llamada de pie de página para indicar agradecimiento y/o fuente de financiamiento.

Autor (es). Se indicará nombre y apellido paterno completos e inicial del apellido materno. Con pie de página se debe indicar la o las instituciones a las cuales pertenecen, incluyendo las direcciones postal y electrónica completas.

Encabezamientos de las secciones. Los encabezamientos de primera, segundo, tercer o cuarto orden deben ser fácilmente distinguibles y no numerados.

Tablas. Deben escribirse a un espacio. El título de cada Cuadro y Figura, **en español e inglés**, debe indicar su contenido de tal forma, que no se requiera explicaciones adicionales en el texto. Los encabezamientos de filas y columnas, como el pie de página, deben ser auto explicativos. Use superíndices numéricos para identificar los pies de página de las tablas. Use letras minúsculas para indicar diferencias significativas o separaciones de medias. Indique asimismo el nivel de probabilidad.

Figuras. Indique correlativamente todas las figuras (gráficos, figuras y fotografías). Las leyendas deben ser claras y concisas. El título de cada figura, **en español e inglés**, debe indicar su contenido de tal forma, que no se requiera explicaciones adicionales en el texto. Por razones de espacio, el Comité Editor se reserva el derecho de incluir o no las fotografías. Los dibujos gráficos deben ser originales, hechos sobre papel blanco. Además de las figuras en papel se solicita enviar figuras en versión electrónica, formato TIFF o JPG de las siguientes resoluciones: figuras en blanco y negro mínimo 600 dpi, las líneas no deben ser más finas que 0.25 pts, los rellenos deben tener una densidad de por lo menos 10 % y las fotografías electrónicas deben tener resoluciones mínimas de 300 dpi. Resoluciones menores afectan la calidad de la impresión. Las fotografías no electrónicas deben ser claras, brillantes y montadas sobre una cartulina.

Figuras o fotografías en colores se podrán publicar con cargo al autor. En blanco y negro se publicarán sin costo.

Evite duplicidad de información en el texto, tablas y figuras.

Nombres científicos y palabras latinas. Deben escribirse utilizando el estilo cursivo de la fuente empleada.

Nombres comerciales y marcas. Estos nombres, de corta permanencia, deben ser evitados en el texto o referidos entre paréntesis o como llamada de pie de página. Use siempre el nombre técnico del ingrediente activo, fórmula química, pureza y / solvente. Los nombres registrados deben ser seguidos por R la primera vez que se cita en el Resumen y texto.

Abreviaturas y Sistema Métrico. Se debe usar el Sistema Internacional de Medidas y sus abreviaturas aceptadas. En caso de utilizarse siglas poco comunes, deberán indicarse completas la primera vez que se citan, seguidas de la sigla entre paréntesis. Todas las abreviaturas y siglas se usan sin punto.

Apéndices. Material informativo suplementario debe ser agregado como Apéndice y colocado antes de la Literatura Citada.

Literatura Citada.

Las referencias a libros, artículos, informes técnicos o trabajos de congresos o talleres deben ser listados en orden alfabético, al final del trabajo. Artículos no publicados, opiniones expertas no se incluyen en listado alfabético pero se pueden mencionar en el texto como comunicaciones personales indicando el nombre del autor. Es responsabilidad del autor obtener los permisos necesarios para citar trabajos no publicados

Ejemplos de citas:

Referencias. En el texto, las referencias deberán citarse entre paréntesis (Triviño y Riveros, 1985) o Astorga (1977), según sea el caso. Si son más de dos autores, citar el primer autor y *et al.*, seguido del año, por ejemplo (Carrillo *et al.*, 1994) Las referencias no publicadas o comunicaciones personales deben insertarse en el texto, indicando dicha condición en llamada de pie de página

Las referencias deben colocarse en orden alfabético en la sección Literatura Citada, de acuerdo a los siguientes ejemplos:

Artículo en Revista: WITHERS, L.A. 1993. In vitro storage and plant genetic conservation (Germplasm). Span. Prog. 26 (2): 72-74.

Libro: ALLARD, R.W. 1975. Principios de la mejora genética de plantas. 2ª Ed. Omega. Barcelona, España. 325 p.

Capítulo de Libro: WARSON, I.A. 1970. The utilization of wild species in the breeding of cultivated crops resistant to plant pathogens. Págs, 441-457. In Frankel, O.H (ed.). Genetic resource in plants. Blackwell Scientific Publ. California. 360 p.

Tesis: Martínez M.F. 1978. Adaptación, rendimiento y estudio de caracteres en dos géneros de maíz. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Fac.de Cs. Agrarias y Forestales. 100 p.

Boletines: LOPEZ, G. 1976. El garbanzo, un cultivo importante en México. Folleto de Divulgación INIA 56.

Abstract: SALINAS, J. 1995. Biología de *Heliothis zea*. Simiente 66(4): 3(Abstr.).

Pruebas

Al autor principal se le enviarán las pruebas de imprenta por correo electrónico. Se espera respuesta con o sin correcciones dentro de las siguientes 96 horas. Sólo se podrán hacer correcciones menores y enviarlas en un correo electrónico adjunto. No modificar archivo enviado. Si fuera necesario correcciones más extensas enviarlas claramente identificadas en el archivo.

INDICE

TRABAJOS DE INVESTIGACION

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE DISEMÍNULOS DE *Stipa caudata* Trin
MEDIANTE TRATAMIENTOS DE ESCARIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE ÁCIDO
GIBERELICO. 1

XIMENA LÓPEZ C., LUIS FAÚNDEZ Y. y MAURICIO VEGA H.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE SUSTRATOS BASADOS EN *Sphagnum*
magellanicum Brid. 8

JORGE HERNÁNDEZ V. y CHRISTEL OBERPAUR W.

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTINES DE TOMATE PRODUCIDOS EN
DISTINTOS VOLÚMENES DE ALVÉOLOS 17

MARÍA LUISA TAPIA F., PABLO ALVARADO V. y CAROLINA BARRA C.

NOTA TÉCNICA

ESTUDIO PRELIMINAR DE UN SISTEMA INYECTOR DE AGROQUÍMICOS PARA
PULVERIZADORAS. 32

IAN HOMER B. y PATRICK GUERRA E.

REVISIONES BIBLIOGRAFICAS

MADURACIÓN DE FRUTAS Y SU INFLUENCIA EN LA NUTRICIÓN HUMANA 41

MAURICIO GONZÁLEZ-AGÜERO y VERÓNICA CAMBIAZO A.

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE DISEMÍNULOS DE *Stipa caudata* Trin. MEDIANTE TRATAMIENTOS DE ESCARIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERELICO.

Evaluation of the germination of *stipa caudata* trin. seeds by scarification treatments and application of giberelic acid.

XIMENA LÓPEZ C., LUIS FAÚNDEZ Y. y MAURICIO VEGA H.

Departamento de Producción Agrícola, Facultad Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile

E-mail: xlopez@uchile.cl

RESUMEN

Stipa caudata Trin. corresponde a una especie de gramíneas (poácea) perenne, que se encuentra distribuida entre Valparaíso la a Araucanía en forma silvestre y que actualmente se utiliza para un rápido establecimiento de una cubierta vegetal en aquellas áreas donde la construcción de infraestructura por parte del hombre, ha creado zonas degradadas y/o inestables.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la germinación de disemínulos de *Stipa caudata* Trin. mediante estratificación a 5 °C, tratamientos de escarificación con ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido clorhídrico (HCL) y escarificación mecánica (lijado), y aplicación de ácido giberélico (AG₃) como promotor de crecimiento.

Los parámetros evaluados fueron: porcentaje de disemínulos embebidos, porcentaje de disemínulos muertos y porcentaje de disemínulos germinados. Los tratamientos correspondieron a distintos tiempos de escarificación, con aplicaciones de AG₃ al 0,06%, a temperatura constante de 26 °C.

Los tratamientos que presentaron los mayores porcentaje de germinación, fueron los escarificados con ácido sulfúrico al 96 % por 17 minutos y adición de AG₃ al 0,06 %, el cual alcanzó un 25 %; seguido por el

tratamiento donde se aplicó solamente el ácido sulfúrico al 96 % por 17 minutos, con un 14 % y el tratamiento de ácido sulfúrico al 96 % de concentración por 20 minutos con un 5 % de germinación.

PALABRAS CLAVES: Escarificación, Ácido giberélico, Dormancia de semillas, Germinación.

ABSTRACT

Stipa caudata Trin. corresponds to a perennial species that frequently found from de fifth to ninth regions in wild form and that at the moment is good for quick establishment of a vegetable cover in those areas where the construction of human infrastructures has created unstable degraded areas.

The objective of the present work was to evaluate the germination of seed of *Stipa caudata* Trin. By means of stratification at 5 °C for 4 weeks and scarification treatments with sulfuric acid (H₂SO₄), hydrochloric acid (HCL) and mechanical scarification (sanded), and application of giberelic acid (AG₃) a growth promoter.

The evaluated parameters were: percentage of absorbed seed, percentage of dead seeds, percentage of germinated seeds and

those with ridicule emission. The treatments corresponded at different times of scarification, with applications of AG_3 at 0,06 %, at a constant temperature of 26 °C. The treatments that presented the largest germination percentages were those scarified with 96 % sulfuric acid for 17 minutes and in addition with 0,06 % AG_3 , which reached 25 %; followed by the treatment in which only the sulfuric acid was applied at 96 % for 17 minutes which reached 14% and the treatment of sulfuric acid at 96 % concentration for 20 minutes with 5 % germination.

KEY WORDS: Scarification, Giberelic acid, Dormancy of seeds, Germination.

INTRODUCCIÓN

La principal motivación para recuperar áreas degradadas y/o inestables ha sido, y continúa siendo, evitar el daño potencial en infraestructura construida por el hombre (Faúndez *et al.*, 2001b). No obstante, desde hace algunos años, la importancia creciente que le otorga la comunidad a los aspectos ambientales, ha determinado la necesidad de eliminar las evidencias de los aspectos negativos que producen algunas actividades humanas sobre el medio, particularmente en la vegetación (Faúndez *et al.*, 2001a). En este sentido, un rápido establecimiento de cubiertas vegetacionales es uno de los principales objetivos de las prácticas de recuperación ambiental; estimándose como las más apropiadas para esto, aquellas especies herbáceas de tipo ruderal, particularmente las gramíneas perennes, las cuales, debido a sus sistemas radicales profundos y extensivos, resultan muy eficientes en la estabilización de sustratos.

Dentro de las gramíneas perennes (Poaceae) las especies del género *Stipa*, conocidas comúnmente como "flechillas", "pajas" o "coirones", corresponden a uno de los grupos de gramíneas más impor-

tantes de América del Sur, no sólo por la abundancia de sus especies, sino también por la significación ecológica que presentan, constituyéndose en dominantes de diferentes formaciones vegetacionales en ambientes estables o perturbados. Dentro de este grupo, *Stipa caudata* Trin., especie silvestre autóctona, ha sido probada con éxito para estos propósitos, pero, aun cuando produce una gran cantidad de disemínulos, éstos no logran germinar, siendo necesario su multiplicación por la vía vegetativa, con el consiguiente aumento en los costos de establecimiento.

La posibilidad de introducir el cultivo de *Stipa caudata* Trin. en Chile, con uso paisajístico y de recuperación de suelos erosionados, pasa necesariamente, por el desarrollo de técnicas de reproducción masiva, vía siembra directa, especialmente en condiciones de acceso restringido y topografía abrupta, para lo cual resulta, imprescindible, establecer el protocolo para su germinación.

Como consecuencia de lo planteado, el objetivo del presente estudio fue: evaluar la capacidad germinativa de disemínulos de *Stipa caudata* Trin., sometidos a diferentes tratamientos de escarificación y aplicación de ácido giberélico.

MATERIALES Y MÉTODO

Materiales

Ubicación del ensayo

Esta investigación se realizó durante la temporada 2002/2003 en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Material experimental

El ensayo se realizó sobre disemínulos de *Stipa caudata* Trin. colectados durante el verano del 2002, en el sector El Principal, comuna de Pirque, Región Metropolitana. Para la repetición de los tratamientos con mejor porcentaje de germinación se

emplearon desimínulos provenientes de la colecta del verano del 2003, desde las riveras del río Mapocho, comuna de Renca, Región Metropolitana y se denominó como T18. Estas semillas (cariopsis), una vez colectados desde sus panojas, fueron almacenadas en bolsas de papel, a temperatura ambiente.

MÉTODO

Descripción del ensayo y diseño experimental

Para evaluar la germinación y los métodos para interrumpir la dormancia, se realizó un ensayo donde la unidad experimental correspondió a una placa Petri (previamente esterilizada en autoclave), con 50 semillas de *Stipa caudata* Trin. (libre de lema y palea). Las semillas se estratificaron

a 5 °C durante 4 semanas, para luego ser llevadas a cámara de germinación a temperatura constante de 26 °C en un diseño completamente al azar, con una estructura que consideró el tiempo de exposición de 4 minutos para la escarificación mecánica (lijado); 11, 14, 17, 20 23 y 26 minutos para la exposición al ácido sulfúrico a una concentración del 96 % y 30 minutos al efecto del ácido clorhídrico a una concentración del 100%, más el uso de una solución de ácido giberélico al 0,06 % de concentración. Se efectuaron 4 repeticiones por cada tratamiento.

Para prevenir ataque de hongos, se aplicó Captan 80 WP (i.a. Captan) en dosis de 200 g / 100 kg de semillas. Se realizaron revisiones cada dos días del estado fitosanitario del ensayo con el fin de detectar cualquier problema y controlarlo inmediatamente.

Cuadro 1. Tratamientos a las semillas.

Table 1. Seeds treatments.

Tratamientos	Agente Escarificador	Tiempo de Exposición (min.)
T1	H ₂ SO ₄ al 96 %	11
T2	H ₂ SO ₄ al 96 %	14
T3	H ₂ SO ₄ al 96 %	17
T4	H ₂ SO ₄ al 96 %	20
T5	H ₂ SO ₄ al 96 %	23
T6	H ₂ SO ₄ al 96 %	26
T7	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	11
T8	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	14
T9	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	17
T10	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	20
T11	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	23
T12	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	26
T13	HCL al 100 %	30
T14	HCL al 100 % + AG ₃ (0,06 %)	30
T15	Escarificación mecánica (lijado)	4
T16	Escarificación mecánica (lijado) + AG ₃ (0,06 %)	4
T17	TESTIGO	---
T18	H ₂ SO ₄ (96 %) + AG ₃ (0,06 %)	17

Tratamientos para romper dormancia

Se obtuvieron de la combinación de los factores agente escarificador para interrumpir la dormancia y tiempo de exposición, generando un total de 18 tratamientos, los que se señalan en el Cuadro 1.

En el ámbito de posibilidades de germinación v/s dormancia, y vistos los resultados, se procedió a repetir el mejor tratamiento, es decir, el tratamiento de ácido sulfúrico más ácido giberélico por 17 minutos. Se realizó con semillas de diferente origen (material parental y localización) y año de cosecha (un año más tarde que las primeras) y se le denominó T18; bajo la idea que la dormancia estuviese relacionada con factores climáticos y parentales (Trask, 1998).

Los resultados se compararon con análisis de varianza de acuerdo con el diseño

propuesto. Al encontrar diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, para un nivel de 1% de significancia. Para la comparación del tratamiento con mejor porcentaje de germinación, se realizó la prueba "t", con 3 grados de libertad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las pruebas de germinación efectuadas:

Este resultado concuerda con las pruebas de viabilidad realizadas por Trask (1998) en *Stipa limmonii*, siendo ésta superior al 80 %, cuando se partieron las semillas permitiendo el ingreso del tetrazolio, indicando el grado de impermeabilidad de su testa (Cuadro 2).

Viabilidad de las semillas.**Cuadro 2. Prueba al Tetrazolio.**Table 2. **Tetrazolium test.**

	<i>Semillas viables</i>	<i>Semillas no viables</i>
Porcentaje	88	12

Germinación.

La germinación se inició el día 11 después de la siembra (momento en que aparece la primera radícula que excede los 2 mm de longitud).

Se observó que aquellos tratamientos donde se aplicó ácido sulfúrico por 17 minutos (T18, T9 y T3) resultaron con los más altos porcentajes de germinación, y dentro de ellos, sin duda, los tratamientos que combinaban al ácido sulfúrico más ácido giberélico (T9 y T18) fueron los que tuvieron

el mejor porcentaje de germinación, con un 25 % y 27 %, respectivamente, esto concuerda con Trask (1998), donde la escarificación siempre mostró un aumento de la germinación en comparación a los tratamientos sin escarificar y aumenta aún más al agregarle una solución de ácido giberélico al 0,06 % de concentración, llegando al 24 % y con lo realizado por Fulbright (1983) al realizar estudios sobre la viabilidad de *Stipa viridula* Trin., donde logró incrementar a un 24 % la germinación al es-

carificar con ácido sulfúrico al 95 % por 12 minutos, adicionando ácido giberélico en concentraciones de 0,055 %, sobre disemínulos con una viabilidad del 86 %, puestas en oscuridad y a una temperatura entre 15 a 30 °C (Cuadro 3).

Dado el hecho que al escarificar la testa, permite que la semilla se embeba y con la adición de ácido giberélico aumente el porcentaje de germinación, se puede deducir que el tipo de dormancia que presenta *Stipa caudata* Trin. está en la dirección de la dormancia tipo mixta. Con los tratamientos en ácido sulfúrico con tiempo de exposición de 20 minutos T4 y T10, se logra el 5 % (lijado) con el 2 % de germinación; para el resto de los tratamientos no se obtuvieron semillas germinadas.

Los porcentajes de germinación obtenidos y los resultados del análisis estadístico con el programa MSTATS, con un nivel de significancia al 1% se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Germinación.

Table 3. Germination.

Tratamiento	Germinación (%)
18	27 a
9	25 a
3	14 b
4	5 c
10	4 c
15	2 d
6	0 e
5	0 e
8	0 e
1	0 e
2	0 e
11	0 e
12	0 e
13	0 e
14	0 e
7	0 e
16	0 e
17	0 e

Valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas. (Duncan $p \leq 0,01$).

Cuadro 4. Efecto de la escarificación y aplicación de ácido giberélico para interrumpir dormancia.

Table 4. Scarification and giberelic acid efect to interrupt dormancy.

Tratamiento	Tiempo (min.)	Germinación (%)
18	17	27 a
9	17	25 a
3	17	14 b
4	20	5 c
10	20	4 c
15	4	2 d
1	11	0 e
2	14	0 e
5	23	0 e
6	26	0 e
7	11	0 e
8	14	0 e
11	23	0 e
12	26	0 e
13	30	0 e
14	30	0 e
16	4	0 e
17	---	0 e

Valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas.

Al realizar la prueba de imbibición se observa que la mayor entrada de agua a la

semilla ocurre desde los 17 minutos, como se puede observar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. **Peso y porcentaje de semillas embebidas.**

Table 5. **Weight and percentage of absorbed seeds.**

<i>Tratamiento</i>	<i>Tiempo (min.)</i>	<i>0 horas</i>	<i>2 horas</i>	<i>4 horas</i>	<i>8 horas</i>	<i>24 horas</i>	<i>% semillas embebidas</i>
T1	11	0,2432	0,2458	0,2520	0,2588	0,2592	6,41
T2	14	0,2432	0,2534	0,2658	0,2720	0,2733	11,84
T3	17	0,2432	0,2622	0,2984	0,3066	0,3069	26,07
T4	20	0,2432	0,2600	0,2678	0,2726	0,2736	12,09
T5	23	0,2432	0,2484	0,2506	0,2518	0,2520	3,54
T6	26	0,2432	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
T7	11	0,2432	0,2480	0,2534	0,2590	0,2594	6,50
T8	14	0,2432	0,2544	0,2682	0,2720	0,2726	11,84
T9	17	0,2432	0,2602	0,3000	0,3066	0,3071	26,07
T10	20	0,2432	0,2596	0,2680	0,2722	0,2728	11,92
T11	23	0,2432	0,2468	0,2502	0,2534	0,2534	4,19
T12	26	0,2432	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
T13	30	0,2432	0,2472	0,2484	0,2500	0,2523	3,74
T14	30	0,2432	0,2466	0,2480	0,2482	0,2486	2,22
T15	4	0,2432	0,2528	0,2566	0,2588	0,2601	6,95
T16	4	0,2432	0,2514	0,2546	0,2530	0,2537	4,32
T17	---	0,2432	0,2432	0,2432	0,2432	0,2432	0,00
T18	17	0,2432	0,2608	0,3056	0,3138	0,3145	29,03

En cuanto a la ocurrencia de semillas muertas, éstas estuvieron dentro del rango que va desde 0 % al 4,5 %, situación más bien esporádica y atribuible a ataques fúngicos.

Al realizar la prueba de repetición del me-

yor tratamiento de germinación se obtuvo un 27 % en comparación con el 25 % de germinación anterior, por lo que se realizó la prueba "t" para diferenciar los tratamientos T9 y T18, como lo indica el Cuadro 6.

Cuadro 6. **Porcentaje de germinación.**

Table 6. **Percentage of germination.**

<i>Tratamientos</i>	<i>Germinación (%)</i>	<i>Desviación Estándar</i>
T9	25	0,258
T18	27	0,372

$t = -1,087$ con 3 grados de libertad

$P = 0,357$, no existe diferencia entre los tratamientos.

CONCLUSIONES

Los disemínulos de *Stipa* presentaron valores promedios de viabilidad de 88 % (coloración al reactivo tetrazolio).

La escarificación física con ácido sulfúrico y la aplicación de ácido giberélico como promotor de crecimiento aplicado a una concentración del 0.06% ejerció un efecto positivo sobre la germinación de semillas de *Stipa*.

Las semillas de *Stipa*, al parecer, presentan una dormancia relacionada con la impermeabilidad de su testa e incluso es probable que exista una dormancia relacionada con el equilibrio hormonal.

LITERATURA CITADA

FAÚNDEZ, L., GREZ, I., SERRA, M. y VITA, A. 2001 a. Criterios de selección de

especies vegetales para la recuperación de cubiertas vegetacionales con fines de rehabilitación o restauración ambiental. Santiago, Chile. Publicaciones Misceláneas Forestales. No 3. p 12 – 20.

FAÚNDEZ, L., GREZ, I., SERRA, M. y VITA, A. 2001 b. Evaluación de especies vegetales para la rehabilitación de espacios degradados. Santiago, Chile. Publicaciones Misceláneas Forestales. No 4. p 7 – 15.

FULBRIGHT, T. 1983. Germination requirements of green needle grass (*Stipa viridula* Trin.). *Journal of Range Management* 36 (3): 390 – 394 p.

TRASK, M. 1998. Variability in seed dormancy of three pacific northwestern grasses. *Seed Sci. & Technol.* 26: 179 – 191.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE SUSTRATOS BASADOS EN *Sphagnum magellanicum* Brid.

Analysis and Evaluation of Substrates based on *Sphagnum magellanicum* Brid.

JORGE HERNÁNDEZ V. y CHRISTEL OBERPAUR W.

Universidad Santo Tomás. Escuela de Agronomía. Ejército 146. Santiago, Chile
E-mail: coberpaur@santotomas.cl

RESUMEN

En Chile la gran mayoría de los productores de plántulas en contenedores, utiliza sustratos importados elaborados con turba, por lo que es necesario considerar sustratos alternativos. Con este fin se evaluaron distintas mezclas basadas en musgo. El ensayo se dividió en dos etapas: la primera en laboratorio de la Universidad Santo Tomás, Santiago, Región Metropolitana, entre los meses de Octubre y Noviembre del 2004, donde se determinaron características fisicoquímicas de 8 mezclas, en diversas proporciones de musgo (m) y perlita (p) (70 % m 30 % p; 60 % m 40 % p; 50 % m 50 % p; 40 % m 60 % p), a las cuales se agregó dolomita para alcanzar dos niveles de pH (5,5 y 6,5). Posteriormente, para el segundo ensayo, se eligieron las cuatro mejores mezclas (70 % m 30 % p - pH 5,5; 70 % m 30 % p - pH 6,5; 60 % m 40 % p - pH 5,5; 60 % m 40 % p - pH 6,5) para ensayarlas en condiciones de invernadero comercial, en Talagante, Región Metropolitana, entre Noviembre de 2004 y Enero de 2005. En bandejas de poliestireno, alvéolos de 10 cm³, se sembraron semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.), además de un testigo (mezcla de turba comercial), con un diseño estadístico completamente al azar, con 8 tratamientos y 5 repeticiones. Semanalmente, hasta alcanzar un tamaño apropiado para trasplante, se evaluó porcentaje de ger-

minación, altura de plantas, cantidad de hojas, peso seco aéreo y radical. Los resultados indican que en todas las variables, en ambas especies los resultados fueron favorables al testigo, y no existieron diferencias significativas entre los tratamientos basados en musgo.

PALABRAS CLAVES: musgo, *Sphagnum moss*, lechuga, pimiento, dolomita

ABSTRACT

In Chile the majority of nursery producers grow containerized plants using different imported commercial mixtures based on peat, therefore it is necessary to consider alternative substrates. Several mixtures based on Sphagnum moss were evaluated. Two trials were carried out, the first one at a laboratory belonging to Universidad Santo Tomás located in Santiago, Región Metropolitana, between October and November 2004. Physical and chemical characteristics of 8 mixtures of different proportions of sphagnum moss and perlite (70 s 30 p, 60 s 40 p, 50 s 50 p, 40 s 60 p) were determined, adding dolomite lime in order to reach two pH levels (5.5 and 6.5) considered appropriate for vegetable crop species. Four promising mixtures (70 s 30 p -5.5, 70 s 30 p -6.5, 60 s 40 p -5.5, 60 s 40 p -6.5) were chosen, in order to evaluate them under normal nursery conditions. A second trial was carried out with them,

filling polystyrene trays (cells of 10cm³), and seeding lettuce (*Lactuca sativa* L.) and pepper (*Capsicum annuum* L.) in a commercial greenhouse, located in Talagante, Metropolitan Region, between November 2004 and January 2005. A commercial mixture was used as a control. A completely randomized design with five treatments and four repetitions was applied. Until adequate transplant age, germination percentage, plant height, leaf number, canopy and root dry weight were measured. Results indicate in all cases at the end of nursery stage, a better behaviour of the control in both species, indicating no differences between the chosen mixtures.

KEY WORDS: *Sphagnum* moss, lettuce, pepper, dolomite lime

INTRODUCCIÓN

El medio de cultivo de plantas en contenedores ha ido evolucionando desde los primeros sustratos basados en suelo mineral hasta las actuales mezclas, con proporción mayoritaria de componentes orgánicos. La elección del tipo de sustrato a emplear es de vital importancia, ya que de la calidad de éste depende el éxito de un cultivo en contenedor (Ansorena 1994).

Sphagnum magellanicum Brid., musgo de pantano, crece en forma silvestre, sobre la superficie, en pantanos de agua dulce. Se encuentra en la zona sur de Chile, en las regiones X a XII (Villaruel *et al.*, 2002). Es el musgo "vivo", principal componente biológico de las turberas. Forma un ambiente pobre en nitrógeno, ácido y anóxico; previene la formación de hongos y bacterias, la lenta descomposición del musgo forma la turba. (Díaz *et al.*, 2005). Es un recurso explotable y constituye una alternativa al uso de turba (Matter, 1998).

Dentro del proceso de selección del musgo para fines de exportación, se genera un porcentaje de fibra considerado como desecho, que podría usarse como sustrato para

la producción de plantines en contenedores. El musgo es utilizado como sustrato por su alta capacidad de retención de humedad (Barbosa *et al.*, 2005), sin embargo presenta una condición ácida, lo que restringe su uso en ciertas especies hortícolas (Delgadillo, 2003). Es un material orgánico natural, sujeto a descomposición biológica (Honorato y Bonomelli, 1999).

Para corregir la acidez se utilizan productos tanto cálcicos como cálcicos-magnésicos (Vázquez y Lanfranco, 2003). La dolomita, CaMg(CO₃)₂, posee una capacidad neutralizante en el suelo que supera a lo menos en un 20% la de un carbonato de calcio común; disminuye las pérdidas por lixiviación del resto de las bases, manteniendo una relación de nutrientes en el suelo más adecuada. Presenta una alta capacidad para reducir el porcentaje de saturación de aluminio en el suelo (Mora, 1993). Es un mineral volcánico silicio, que contiene entre 2 y 5 % de agua atrapada (Martínez, 2002).

La perlita, empleada para mejorar la estructura del sustrato, es totalmente inerte, presenta baja CIC y poder amortiguador, así como escasa retención de agua. Proporciona aireación al medio de cultivo y mantiene su estructura inalterable. El pH es cercano al neutro (6,0 - 8,0), su densidad aparente es baja y constituye un buen estabilizador de la temperatura. Algunas posibles desventajas son el riesgo de toxicidad por aluminio en plántulas a pH ácido y la escasa capacidad de suministro de agua en condiciones de gran transpiración, lo que hace necesario riegos más frecuentes (FAO, 2002).

Para que ocurra el proceso de germinación es necesario que el sustrato sea húmedo, tenga suficiente disponibilidad de oxígeno y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos de la plántula (Porta *et al.*, 1999). La lechuga es una especie sensible a la salinidad (Krarup y Moreira, 1998). Si existe deficiencia de oxígeno a nivel radical la planta disminuye la tasa de

crecimiento, acelera la senescencia, se produce pérdida de hojas, epinastia, desarrollo de las raíces adventicias, y desórdenes nutricionales (Tapia, 1998). El pimiento posee mediana tolerancia a la acidez, resistiendo hasta pH 5,5 (Giaconi y Escaff, 1998). Es sensible a la salinidad, Krarup y Moreira (1998) indican un umbral de 1,5 dS m⁻¹.

El objetivo de este estudio fue evaluar la corrección de acidez del musgo, mezclado con perlita, y probar este sustrato en la producción de plantines hortícola, mediante especies indicadoras como lechuga y pimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron dos ensayos. El primero, referente a la combinación y análisis de premezclas, y mezclas definitivas se realizó en un laboratorio de la Universidad Santo Tomás, Comuna de Santiago, Región Metropolitana. El segundo ensayo, de siembra en contenedores, se efectuó bajo condiciones de un invernadero comercial ubicado

en Talagante, Región Metropolitana en Noviembre y Diciembre de 2004.

En los ensayos se utilizaron semillas de lechuga cultivar Empire, que corresponde al tipo "iceberg", de verano, y semillas de pimiento cultivar Keystone Resistant.

Para la elaboración de sustrato se usó musgo, perlita, y dolomita para ajustar la acidez. Como testigo se consideró un sustrato comercial, importado, basado en turba. Para el ensayo en invernadero se utilizaron 40 bandejas de poliestireno de 432 alvéolos (10 cm³) para la siembra de lechuga y pimiento.

Ensayo 1. Mezclas basadas en musgo, perlita y cal dolomita

Previo a la formulación de mezclas se preparó el musgo, el cual estaba prensado en fardos de 5 Kg. Una vez disgregado se tamizó mediante un harnero de 0,8 mm, se humedeció y se solarizó por 20 días. Una vez determinado el pH original del musgo, se combinaron 4 mezclas (indicadas en el Cuadro 1) en diferentes proporciones de musgo *Sphagnum* y perlita y se aplicó cal

CUADRO 1. Dosis de dolomita necesaria para alcanzar dos valores de pH, y características de las mezclas.

TABLE 1. Necessary dolomite doses to reach two proposed pH levels and characteristics of the mixtures.

Tratamientos			Dosis dolomita (kg m ⁻³)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)
Musgo (%)	Perlita (%)	pH				
70	30	5,5	0,58	22,04 a	0,07 c	0,24 a
60	40	5,5	0,54	16,14 b	0,08 b	0,22 a
50	50	5,5	0,48	12,40 c	0,08 b	0,24 a
40	60	5,5	0,47	8,11 d	0,09 a	0,22 a
70	30	6,5	1,38	21,34 a	0,07 c	0,24 a
60	40	6,5	1,21	15,20 b	0,08 b	0,24 a
50	50	6,5	1,13	11,59 c	0,08 b	0,24 a
40	60	6,5	1,08	8,45 d	0,09 a	0,23 a

* Días después de la siembra.

Promedios con igual letra dentro de la columna, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (P≤ 5%)

dolomita en distintas cantidades para alcanzar dos valores de pH propuestos (5,5 – 6,5). Una vez conocidas las dosis de cal dolomita necesarias para lograr estos niveles se realizaron 8 mezclas (Cuadro 1).

Las mediciones, una vez logrado el valor de pH propuesto, fueron pH (pH-metro), conductividad eléctrica (conductímetro), porcentaje de humedad y materia seca (estufa de secado, 105 °C), porcentaje de materia orgánica y densidad aparente (método del cilindro).

El criterio de selección de las 4 mejores mezclas, consideró los rangos del sustrato ideal. Es decir, estabilización de pH con menor dosis de cal dolomita, valores de densidades aparentes más bajas, menor conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica.

Las 4 muestras seleccionadas (Cuadro 2) fueron enviadas a un laboratorio de análisis agrícola oficial, junto con la muestra testigo de turba comercial a fin de determinar otras propiedades físico-químicas.

Ensayo 2. Siembra en contenedores bajo condiciones de vivero

Los tratamientos fueron los indicados en el Cuadro 2 además de un testigo, mezcla de turba comercial, sembrados con lechuga y pimentón como especies indicadoras.

La siembra mecanizada de pimiento, 30 de noviembre de 2004, y de lechuga, 21 de diciembre de 2004 se efectuó con una semilla por alvéolo. Las bandejas fueron humedecidas y colocadas en cámara de germinación a 25 °C por tres días, para luego llevarlas a condiciones de invernadero.

El riego y la fertirrigación de los almácigos se realizaron por medio de micro aspersores, de acuerdo a los criterios de la empresa comercial.

Las evaluaciones se efectuaron cada siete días, seleccionando al azar 5 plantas de cada repetición, hasta que los almácigos estuvieron en condiciones de ser transplantados. Las mediciones que se ejecutaron fueron: plántulas emergidas (medición efectuada a todas las bandejas), altura de

CUADRO 2. Análisis completos de sustratos seleccionados.

TABLE 2. Complete analysis of selected substrates.

Análisis/Sustrato	Ideal**	Turba comercial	70m30p pH 5,5	70m30p pH 6,5	60m40p pH 5,5	60m40p pH 6,5
N (%)		0,50	0,20	0,21	0,15	0,17
P ₂ O ₅ (%)		0,25	0,10	0,10	0,07	0,07
K ₂ O (%)		0,26	0,02	0,02	0,01	0,01
pH (suspensión 1:5)	5,5-6,5	5,70	5,60	6,10	5,70	6,30
CE (dS m ⁻¹)	0,75-3,49	1,00	0,35	0,39	0,27	0,33
Materia Orgánica (%)	>80	69,50	21,00	21,00	13,00	16,00
Carbono Orgánico (%)		40,40	12,20	12,20	7,60	9,30
Relación C/N	20-40	80,80	61,00	58,10	50,70	54,70
CIC (meq 100 g ⁻¹)	10-30	167,60	35,00	34,20	29,90	33,60
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.22	0,13	0,08	0,09	0,09	0,09
Humedad (%)	24-40	68,20	25,60	23,10	21,30	23,30

Fuente:** Ansorena 1994

plántula (mm) (medida desde la base del cuello), cantidad de hojas verdaderas por plántula (tamaño hoja mayor a 5 mm), peso seco aéreo y de raíces (a 105 °C por 24 horas).

El diseño estadístico fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y un testigo, con cinco repeticiones para ambas especies. La unidad experimental fue la bandeja de 432 alvéolos.

Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA), para determinar diferencias entre los tratamientos y la Prueba de Comparación Múltiple de Duncan ($p < 5\%$), donde las variables expresadas en porcentaje fueron sometidas a transformación angular de Bliss.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1. Análisis de mezclas basadas en musgo, perlita y cal dolomita

Se obtuvieron las ecuaciones de regresión por mezcla, para dosificar la aplicación de dolomita como corrector de acidez. En el Cuadro 1 se indican las dosis necesarias de dolomita para estabilizar los niveles de pH propuestos.

Los resultados del Cuadro 2 muestran valores muy bajos de conductividad eléctrica

si se comparan con los ideales ($0,75 - 3,49 \text{ dS m}^{-1}$) propuestos por Ansorena (1994), estos bajos valores afectarían el aporte de nutrientes a las plántulas.

Un sustrato ideal debería contener un 80 % de materia orgánica, cifra casi cuatro veces superior al mejor resultado de los tratamientos analizados.

Las mezclas 70 % musgo y 30 % perlita con pH 5,5 y 6,5 se seleccionaron para llevarlas al ensayo 2, por presentar un mayor porcentaje de materia orgánica y una menor densidad aparente.

En el Cuadro 2 se indican los valores arrojados por el análisis del laboratorio oficial de los distintos tratamientos a usar con plantas indicadoras.

Las mezclas que incluyen musgo, en sus distintas combinaciones poseen un pH y Capacidad de intercambio catiónico (CIC) cercanos a los rangos de un sustrato ideal (FAO 2002); pero muestran bajas conductividades eléctricas, materia orgánica y densidad aparente.

Ensayo 2. Siembra en contenedores bajo condiciones de vivero

En los Cuadros 3 y 4 se observan los porcentajes promedios de germinación de las plántulas en los distintos tratamientos y el testigo.

CUADRO 3. Efecto de sustratos basados en musgo y perlita en la germinación de pimienta.

TABLE 3. Effect of selected substrates, based on moss and perlite, on pepper germination.

Tratamientos / Fecha		7 dds*	14 dds	21 dds	28 dds	35 dds	42 dds
Testigo		54,34 a	83,68 a	85,30 a	85,53 a	86,05 a	85,94 a
70% <i>m</i> 30% <i>p</i>	pH 5,5	9,14 c	79,98 a b	84,03 a	83,28 a	82,99 a	82,93 a
60% <i>m</i> 40% <i>p</i>	pH 5,5	11,52 b c	78,07 a b	82,64 a	83,16 a	83,10 a	82,99 a
70% <i>m</i> 30% <i>p</i>	pH 6,5	14,30 b c	76,22 b	79,80 a	79,92 a	79,86 a	79,80 a
60% <i>m</i> 40% <i>p</i>	pH 6,5	21,30 b	75,06 b	80,50 a	80,79 a	81,02 a	80,90 a

* Días después de la siembra.

Promedios con igual letra dentro de la columna, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($P \leq 5\%$)

CUADRO 4. Efecto de sustratos basados en musgo y perlita en la germinación (%) de lechuga.

TABLE 4. Effect of selected substrates, based on moss and perlite, on lettuce germination.

Tratamientos / Fecha			7 dds*	14 dds	21 dds	28 dds
Testigo			93,00 a	95,95 a	96,70 a	96,70 a
70% m	30% p	pH 5,5	79,46 b c	80,67 c	80,67 c	80,50 c
60% m	40% p	pH 5,5	78,53 c	79,69 c	79,86 c	79,46 c
70% m	30% p	pH 6,5	85,53 b	86,98 b	87,33 b	87,15 b
60% m	40% p	pH 6,5	83,97 b c	86,40 b	86,46 b	86,40 b

* Días después de la siembra.

Promedios con igual letra dentro de la columna, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($P \leq 5\%$)

A los 7 dds (días después de siembra) se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos, existiendo un mayor porcentaje de germinación en el testigo en ambas especies indicadoras. Esto se puede deber, entre otras causas, a que la mezcla comercial posee una coloración más oscura que las mezclas de musgo y perlita, lo que implicaría un aumento de la temperatura del sustrato, favoreciendo la emergencia de las plántulas. A los 14 dds, aunque existe un incremento de la germinación en todos los tratamientos, todavía se pueden apreciar diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, estabilizándose la germinación desde esa fecha en adelante.

En relación a la cantidad de hojas en lechuga y pimiento a los 14 y 21 dds no existen diferencias significativas entre las mezclas de sustratos y el testigo. A partir de los 28 dds se detectaron diferencias significativas, siendo siempre más favorables al testigo. Entre las mezclas con musgo no se notaron diferencias significativas.

La altura de plántula fue favorable al testigo en pimiento desde los 14 dds y en lechuga desde los 7 dds. Fue posible observar, que las plántulas provenientes de los tratamientos con musgo junto a un menor número de hojas, mostraron un menor ta-

maño, una textura más coriácea, coloración más opaca, y entrenudos más cortos que los del testigo. Esto indica un efecto de estrés, el cual podría deberse a un déficit de nutrientes, ya que se observó que plántulas que crecieron debajo de los microaspersores tenían un desarrollo similar a las del testigo, probablemente por un mayor aprovechamiento de nutrientes (por efecto de goteo postriego).

Según los cuadros 5 y 6 a los 14 dds se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo los tratamientos testigo y 70-30-6,5 los que presentaron los mayores pesos seco, no habiendo diferencias entre ellos. Los valores más bajos fueron para los tratamientos 70-30-5,5, 60-40-5,5 y 60-40-6,5 no existiendo diferencias significativas entre ellos.

A partir de los 21 dds y hasta el término del ensayo, el peso seco aéreo fue siempre favorable al tratamiento testigo. Los tratamientos en base a musgo y perlita presentaron menores pesos secos aéreos, y no se aprecian diferencias significativas entre ellos.

El menor peso seco aéreo y radical de las plantas de pimiento y lechuga establecidas sobre las distintas mezclas en base a musgo, probablemente se debe a un problema

de asimilación de nutrientes, ya que todos los tratamientos y el testigo fueron fertirrigados con las mismas dosis de nutrientes y con igual frecuencia. Posiblemente las causas pueden centrarse en la baja CIC y la baja CE de estos mismos. Se descarta que el problema se deba a una condición de mayor acidez, ya que el testigo presenta un pH con 5,7; y a posibles efectos alelopáticos (Barbosa *et al.*, 2005).

Además, los resultados negativos respecto a las mezclas ensayadas, podrían haber sido influenciados por los tiempos y frecuencias de riego utilizados en el inverna-

dero comercial, ya que como buen retenedor de humedad, las cantidades de agua de riego aplicadas a las mezclas en base a musgo en condiciones comerciales pueden ser demasiado abundantes. Probablemente al modificar los tiempos y frecuencias de riego, junto a las cantidades de nutrientes aplicados, los resultados no sean tan adversos. Caron *et al.*, (2004) probaron diversas mezclas de turba de Sphagnum (30 a 60 %) y arena, modificaron solo el manejo del riego, no alterando otros factores de producción. Obtuvieron plantas comerciales con un ahorro de agua entre 26 y 38 %.

CUADRO 5. Peso seco aéreo (mg pl⁻¹) y radical (mg pl⁻¹) de plántulas de pimienta.

TABLE 5. Top and root dry weight of pepper plants.

Tratamiento	14 dds*		28 dds		42 dds		49 dds	
	Ps a	Ps r	Ps a	Ps r	Ps a	Ps r	Ps a	Ps r
Testigo	9,25a	7,36 a	69,99a	42,90a	157,01a	108,09a	238,72a	158,04a
70%m 30%p pH 5,5	6,03b	4,50 b	44,91b	23,75b	80,05b	53,68b	89,20 b	60,02b
60%m 40%p pH5,5	6,55b	5,32ab	41,15b	20,97b	82,30b	50,16b	98,75 b	53,77b
70%m 30%p pH6,5	8,47a	7,08 a	47,77b	20,21b	86,68b	53,10b	89,09 b	61,56b
60%m 40%p pH6,5	6,70b	6,85 a	5,70b	25,77b	79,46b	45,46b	80,70 b	50,41b

* Días después de la siembra. Ps a: peso seco aéreo Ps r: peso seco radical
Promedios con igual letra dentro de la columna, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (P ≤ 5%)

CUADRO 6. Peso seco aéreo (mg pl⁻¹) y radicular (mg pl⁻¹) de plántulas de lechuga.

TABLE 6. Top and root dry weight of lettuce plants.

Tratamiento	14 dds*		21 dds		28 dds		35 dds	
	Ps a	Ps r	Ps a	Ps r	Ps a	Ps r	Ps a	Ps r
Testigo	9,30 a	5,93 a	34,82 a	18,85 a	61,08 a	30,97 a	94,78 a	95,50 a
70%m 30%p pH5,5	3,89 b	4,42 ab	16,75 b	13,15 a	29,54b	22,31 ab	38,66 b	46,32 b
60%m 40%p pH5,5	4,14 b	3,26 b	18,03 b	12,77 a	34,43 b	17,94 b	49,36 b	35,50 b
70%m 30%p pH6,5	3,65 b	3,81 b	17,84 b	13,26 a	25,97 b	22,57 ab	44,10 b	57,41 b
60%m 40%p pH6,5	3,84 b	4,33 ab	17,18 b	11,43 a	24,87 b	15,12 b	44,67 b	35,55 b

* Días después de la siembra. Ps a: peso seco aéreo Ps r: peso seco radical
Promedios con igual letra dentro de la columna, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (P ≤ 5%)

CONCLUSIONES

- En las mezclas en base a musgo es posible ajustar los niveles de acidez aplicando dolomita, lo que permite regular la acidez sin aumentar el contenido de sales de las mezclas.
- Las especies indicadoras establecidas en las mezclas de musgo, perlita y dolomita muestran un deficiente crecimiento, por lo que es necesario modificar aún más los sustratos basados en musgo, perlita y dolomita.

LITERATURA CITADA

- ANSORENA M., J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-España. 172 p.
- BARBOSA, N., CASTILHO, C., REINERS DE CARVALHO, P., YAMAMOTO, N. y CACCIOLAN, C. 2005. Casca de pinus: avaliacao da capacidades de retencao de água e da fitotoxidades. *Colloquium Agrariae* 1(1)19-24
- CARON, J., BEESON, R., HAYDU, J. and BOUDREAU, J. 2004. Saving water with *Sphagnum* peat in nursery growing media. *Acta Hort.* (ISHS) 664:119-124.
- DELGADILLO, C. 2003. Briófitas. Sociedad Latinoamericana de Briología (en línea). Consultado 4 ago. 2004. Disponible en <http://www.inbio.ac.cr>
- DÍAZ, F., LARRAÍN, J. y ZEGERS, G. 2005. Antecedentes sobre la importancia de las turberas y el pompon en la Isla de Chiloé. Fundación Senda Darwin, 33 p.
- FAO (Oficina Regional para América Latina y el Caribe) 2002. Medios y Técnicas de Producción (en línea). Consultado 26 jul. 2004. Disponible en <http://www.fao.org/> DOCREP/005/S8630S/s8630s07.htm#bm07
- GIACONI, V. y ESCAFF, M. 1998. Cultivo de hortalizas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 308 p.
- HONORATO, R. y BONOMELLI, C. 1999. Medios artificiales en producción de plantas. *Revista El Campesino* v. 130(3) p. 40-43
- KRARUP, C. y MOREIRA, I. 1998. Hortalizas de estación cálida y fría. Biología y diversidad cultural. Pontificia Universidad Católica de Chile, VRA (en línea), Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. Consultado 20 jul. 2004. Disponible en http://www.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p134.html
- MARTÍNEZ, A. 2002. Evaluación de distintos sustratos para la producción de lechuga y espinaca en sistema hidropónico flotante. Tesis ing. Agr. Talca. Universidad de Talca. Facultad de Agronomía. 56 p.
- MATTERI, C. 1998. La biodiversidad briológica (o sobre cómo y por qué proteger los musgos). *Revista Ciencia Hoy* Volumen 8 No 46 (en línea). Consultado 29 jul. 2004. Disponible en <http://www.ciencia-hoy.retina.ar/hoy46/musg01.htm>
- MORA, M. 1993. Dolomita una nueva alternativa para suelos ácidos. *Revista Frontera Agrícola* (Chile) Año 1 N°2.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, segunda edición. Ediciones Mundi-Pren-

sa, Madrid, España. 849 p.

TAPIA, M, L. 1998. Producción intensiva hidropónica de lechugas. P. 27-42. In: Seminario Nacional sobre hidroponía. 28-29 de Mayo. FAO. Santiago, Chile.

VÁSQUEZ, M. y LANFRANCO, J. 2003. Acidificación y desbalance de bases en el suelo (en línea). Consultado 26 jul. 2004. Disponible en <http://www.ilustrados.com/>

publicaciones/EpyAyAfviewk/hjzyu.php

VILLARROEL, M., BIOLLEY, E., YAÑEZ, E. y PERALTA, R. 2002. Caracterización químico nutricional del musgo *Sphagnum magellanicum*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Caracas 2002 (en línea). Consultado 11 jul. 2005. Disponible en http://scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222002000400011&script=sci_arttext

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTINES DE TOMATE PRODUCIDOS EN DISTINTOS VOLÚMENES DE ALVÉOLOS¹

Growth and development of tomatoes speedling in different cell sizes

MARÍA LUISA TAPIA F., PABLO ALVARADO V. y CAROLINA BARRA C.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Casilla 1004, Santiago.

Email: mtapia@uchile.cl

RESUMEN

La producción industrial de plantines de tomate constituye un factor clave para el abastecimiento de la gran demanda existente por parte de los productores. Esto hace necesario la obtención de plantines en forma eficiente, para lo cual es fundamental contar con una serie de insumos, infraestructuras y equipos especializados que permitan producirlos en el menor tiempo y espacio, y que además faciliten tanto el transporte como la labor de trasplante. Dentro de los insumos, la utilización de bandejas alveoladas es una alternativa viable para el logro de estos objetivos. El volumen de alvéolo debe permitir un crecimiento equilibrado de los plantines contribuyendo a mantenerlos libres de estrés para así asegurar el establecimiento exitoso en el campo. El presente ensayo se desarrolló con el objetivo de caracterizar el crecimiento y desarrollo de plantines de tomate del cv. Miramar (Seminis) producidos en alvéolos de 12 cc, 16 cc, 32 cc y 43 cc. Se evaluó la velocidad de desarrollo de los plantines en el almácigo desde la emergencia a la 2ª hoja verdadera. En este estado fenológico se realizaron mediciones de crecimiento. Posteriormente algunos de ellos se llevaron a terreno para evaluar su establecimiento 20 días post trasplante. Los plantines producidos en alvéolos de 32 cc y 43 cc presentaron mayor precocidad que plantines producidos en alvéolos de 12 cc y 16 cc al estado de 2ª hoja verdadera, asimismo se evidenció mayor crecimiento

de los plantines producidos en alvéolos de 32 cc y 43 cc en la mayoría de las variables evaluadas. El establecimiento de los plantines en el campo no se afectó por el volumen de alvéolo utilizado, ya que no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ni pérdida de plantas en ninguno de ellos. Por lo tanto, la utilización de alvéolos de distinto volumen en la producción de plantines de tomate ejerce un efecto directo sobre el crecimiento y desarrollo de éstos en la etapa de almácigo; no así en el establecimiento en campo.

PALABRAS CLAVES: *Lycopersicon esculentum* Mill., almácigo, bandejas alveoladas, restricción radical.

ABSTRACT

The industrial production of tomato seedlings is very important to supply the great demand by the producers. This makes fundamental to obtain seedlings in a more efficient way, for which it is fundamental to count on varied inputs, infrastructure and specialized equipment that allow to produce them in shorter time and space, and also facilitates the transport as well as the transplant work. Within the inputs, the use of plug trays is a viable alternative for the profit of these objectives. Plug trays cell size must allow a balanced seedling growth contributing to maintain them free of stress thus to assure a successful establishment in the field. The aim of the present study was to characterize the

¹Proyecto FONDEF D03I-1063.

growth and development of Miramar cv. (Seminis) hybrid tomato seedlings, produced in different cell size: 12 cc, 32 cc, 32 cc and 43 cc. Seedling development speed was measured from sowing to 2nd true leaf. At this phenological state, measurements of seedling growth were made and later some of the plants were taken to the field to evaluate their establishment 20 days later. Seedlings produced in 32 cc and 43 cc cell size showed a greater precocity than those produced in 12 cc and 16 cc cell size at 2nd true leaf state, also a greater growth in seedlings produced in 32 cc y 43 cc in most of the variables evaluated was demonstrated. The plants establishment at the field was not affected by the cell size used, because there was neither significant differences between the treatments nor plants loss. Therefore, the use of different cell size in the tomato seedling production produces a direct influence on plant growth and development at seedbed period, in contrast to the establishment in the field.

KEY WORDS: *Lycopersicon esculentum* Mill., seedlings, plug trays cell size, root restriction

INTRODUCCIÓN

La producción industrial de plantines tuvo su gran expansión en la segunda mitad del siglo XX en Europa y luego en Estados Unidos, debido a la necesidad de producir cultivos rentables en pequeñas superficies, contar con una mayor cantidad y calidad de productos cerca de los grandes centros de consumo, obtención de cultivos en una época más temprana y disminuir las cuantiosas pérdidas por patógenos del suelo (Valenzuela y Gallardo, 2003). Este sistema se ha instaurado aceleradamente debido al incremento en la especialización y automatización de las operaciones de invernadero, y la mayor demanda de los agricultores. La incorporación de nuevas tecnologías ha permitido un mejor manejo de los

recursos debido a una mayor eficiencia en la utilización de la semilla y un mejor uso del espacio, junto con la obtención de cultivos más sanos, uniformes y con un menor daño a las raíces. Estos factores aseguran en gran medida la obtención de plantas de buena calidad y el éxito posterior en el establecimiento en campo. Vavrina (2004), señala que un plantin de óptima calidad es vigoroso, libre de plagas y buen desarrollo radical. Garton (1997), agrega que el productor de plantines debe lograr plantines con tallos erguidos y vigorosos, uniformes; hojas bien desarrolladas y expandidas, no encorvadas ni plegadas; las raíces blancas, vigorosas, además, debieran llenar el alvéolo de arriba hasta abajo. Un plantin con un crecimiento adecuado tendrá la cantidad de reservas necesarias para asegurar un rápido establecimiento bajo una amplia variedad de condiciones de campo. Debido a que las condiciones ideales para la obtención de un óptimo plantin raramente existen, es necesario guiar el desarrollo de la planta a través del control medioambiental (Vavrina, 2004). Los factores más importantes que determinan la calidad final de un plantin son el agua, la luz, la temperatura, fertilización, el volumen de sustrato para el desarrollo de las raíces, y el tiempo de permanencia en el invernadero (Vavrina, 2004). Las características de los contenedores destinados a la producción comercial de plantines varían de acuerdo a las necesidades de las industrias plantineras. Dicha producción ha evolucionado fuertemente; en el pasado se utilizaban cubos de turba seca prensada, potes de arcilla, pastillas de turba deshidratada, macetas de fibra con turba y conos plásticos, entre otros, actualmente por lo general se utilizan bandejas alveoladas de plástico rígido o de poliestireno (Kelley, 2000). El tomate es la especie hortícola más producida en el mundo, destinándose una gran superficie anualmente a su producción. Este factor hace que su producción en almácigo sea indispensable para abastecer la

alta demanda existente en el mercado (Odepa, 2006). En el mercado existen bandejas alveoladas con una amplia gama de volúmenes. Para la producción de plantines de tomate destinados a consumo fresco, se utilizan actualmente bandejas de poliestireno con los siguientes volúmenes de alvéolos: 13,5 cc; 19,5 cc; 21,0 cc; 25,5 cc y 58,0 cc (Masterplant, 2006). Hartz *et al.*, (2002), señalan que la utilización de bandejas alveoladas con volúmenes de 15,0 cc a 26,0 cc comprende el rango comúnmente considerado práctico en términos económicos y de producción por la industria plantinera de California. Por su parte, Bodnar y Garton (1996) señalan que para producir plantines de tomate para mercado fresco comúnmente se utilizan bandejas con alvéolos de 171,0 cc, 106,0 cc y 66,0 cc para la producción de tomate temprano y de 23,0 cc para tomate de temporada. Es común el empleo de bandejas con alvéolos de 11,0 cc; 14,0 cc; 22,7 cc; 28,0 cc y 33,0 cc (Blackmore Company, 2006). En Chile, se ha utilizado comúnmente y por muchos años bandejas de poliestireno expandido de distintos volúmenes de alvéolos; estas bandejas presentan una dimensión exterior de 39 cm de ancho por 64 cm de largo, variando la altura de la bandeja en un rango de 4,0 a 15,0 cm. Usualmente para producir plantines de cvs. de tomate destinado a mercado fresco se utilizan bandejas con alvéolos de 56,0 cc (104 alvéolos), 43,0 cc (135 alvéolos) y 24,0 cc (240 alvéolos) (BASF, 2006). En la actualidad se están utilizando bandejas termoformadas de polietileno de los siguientes volúmenes: 32,0 cc (105 alvéolos), 25,0 cc (128 alvéolos) y 16,0 cc (162 alvéolos) (Protekta Ltda., 2006). La tendencia es utilizar bandejas con más alvéolos, lo cual aumenta el número de plantines producidos por unidad de superficie (Vavrina, 2001). Esta modalidad, además de permitir un mejor manejo de las bandejas para el transporte y trasplante, reduce los costos de producción por plantín, dado que éstos se relacionan directamente con el

volumen y tipo de contenedor. En la elección del contenedor a utilizar incide la especie, la vida útil, eficiencia en el uso del espacio, facilidad de manipulación, posibilidad de mecanización del trasplante (Alvarado y Rojas, 1996). La reducción del volumen del alvéolo conlleva a la experimentación de una serie de cambios morfológicos y fisiológicos de las raíces, pudiendo afectar la calidad del plantín (NeSmith y Duval, 1998). El delicado balance entre raíz y parte aérea puede verse alterado cuando el sistema radical es restringido a un pequeño volumen. El resultado de este desequilibrio puede afectar el crecimiento de las plantas. Kemble *et al.*, (1994), evaluando variables de crecimiento en plantines de tomate producidos en bandejas Speedling® con volúmenes de 3,3 cc; 27,0 cc; 37,1 cc y 80,0 cc por celda reportaron plantines de mayor altura a medida que se incrementó el volumen del alvéolo; así, los valores alcanzados fluctuaron entre 3,6 y 8,9 cm para los plantines producidos en los alvéolos más pequeños y los más grandes, respectivamente. Similares resultados fueron reportados por Marr y Jirak (1990), Garton (1997) y Vavrina (2001). Por su parte, Weston y Zandstra (1986) señalan que los plantines de tomate, 28 días después de la siembra en bandejas con alvéolos de 39,5 cc fueron los de mayor altura (20,9 cm), en comparación con los producidos en bandejas con alvéolos de 4,4 cc, cuya altura promedio fue de 10,1 cm. Sin embargo, no existieron diferencias significativas entre la altura de plantines provenientes de las bandejas con alvéolos de 39,5 cc y la altura obtenida por plantines provenientes de bandejas con 18,8 cc y 15,4 cc. En cuanto a la producción de materia seca, diversas investigaciones señalan que la cantidad de asimilados presentes en la parte aérea de las plantas es menor en aquellas con restricción radical (aumenta la relación raíz/parte aérea). Al respecto, Weston y Zandstra (1986) reportaron para plantines de tomate de 28 días de edad aumentaba con el

incremento del volumen del alvéolo. Los plantines producidos en bandejas con alvéolos de 4,4 cc y 5,6 cc alcanzaron valores más bajos de peso seco aéreo (0,07 y 0,09 gramos respectivamente) en comparación con los obtenidos en bandejas con alvéolos de 30,7 y 39,5 cc (0,42 y 0,44 gramos respectivamente). Resultados similares han sido reportados por Marr y Jirak (1990), Kemble *et al.*, (1994), y por Romano *et al.*, (2003). Al estudiar el efecto de la restricción radical sobre el área foliar, Romano *et al.* (2003) obtuvieron valores más altos al utilizar bandejas con un mayor volumen de alvéolo. Plantines provenientes de alvéolos de 99,2 cc alcanzaron un área foliar de 128,12 cm² mientras que los producidos en alvéolos de 15,6 cc, solamente llegaron a 31,65 cm². Similares resultados fueron reportados por Weston y Zandstra (1986). Contrario a esto, Jang *et al.*, (1996), analizando dos cultivares que fueron sembrados en bandejas con alvéolos de 32,8 cc; 25,3 cc y 16,8 cc y producidos en invernadero por 20, 30 y 40 días, reportaron que seis días después del trasplante la altura de planta y el área foliar no difirieron, solo se presentaron diferencias en el número de hojas, el cual varió para los distintos volúmenes de alvéolos y la edad de los plantines en el cv. 'Seokwang'. Sin embargo, los mismos autores, reportaron que generalmente los días requeridos para la obtención de un óptimo plantin iban en aumento con la utilización de bandejas con los alvéolos de volumen mayor. Las respuestas de las plantas a un volumen reducido de alvéolo-sustrato han sido reportadas para una amplia gama de especies, obteniéndose resultados discrepantes entre ellas e incluso entre cultivares de una misma especie. No hay claridad respecto del establecimiento en campo de plantines producidos en alvéolos reducidos (Nesmith y Duval, 1998); los investigadores solo concuerdan en que la elección de un volumen de alvéolo determinado va a ejercer un efecto directo sobre el crecimiento y desarrollo de las

plantas. Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar el crecimiento y desarrollo de plantines de tomate producidos en alvéolos de distintos volúmenes desde su emergencia hasta el establecimiento en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en la Estación Experimental Agronómica Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en Santa Rosa paradero 32, 32°40' latitud sur y 70°32' longitud oeste y 625 m.s.n.m. Se utilizaron semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) del cv. Miramar (Seminis), híbrido, indeterminado, destinado a consumo fresco. El almácigo se realizó en bandejas plásticas alveoladas termoformadas (Protekta Ltda®, 2006) con alvéolos de distintos volúmenes. Las bandejas se dispusieron sobre una mesa acondicionada para riego subsuperficial, el que se efectuó con agua de pozo. Las bandejas se mantuvieron bajo un sombreadero de malla raschel con 18 % de interferencia de luz. El sustrato correspondió a turba de musgo *Sphagnum* canadiense con macro y micro nutrientes, elementos traza, cal dolomítica y agente humidificante comercializado bajo el nombre de Sunshine mix N°6® (Agristar Ltda., 2006). Las características físicas y químicas de éste se detallan en el Cuadro 1. Previo a la siembra se realizó un test de germinación de acuerdo a las normas ISTA, obteniéndose un 99 % de germinación. El sustrato fue homogéneamente humedecido, depositándose una semilla por alvéolo la cual fue cubierta nuevamente con sustrato y posteriormente regada en forma de lluvia fina. El período de almácigo se extendió desde la siembra hasta que los plantines alcanzaron el estado de 2-3 hojas verdaderas. Los 4 tratamientos evaluados se presentan en la Cuadro 2. Para evaluar el establecimiento en terreno, se procedió a realizar el trasplante una vez que el 80%

Cuadro 1. Características físicas y químicas del sustrato Sunshine mix N° 6®.

Table 1. Physic and chemical characteristics of Sunshine mix N° 6® substrate.

Conductividad eléctrica	0,7-1,2 dS/m
pH	5,5-6,5
Capacidad de retención de agua	50-60%
Concentración de macro y micronutrientes (ppm)	
N	20 - 40
P	0,5 - 25
Ca	50 - 190
Mg	30 - 100
Fe	0,1- 1,0
Cu	0,005 - 0,015
B	0,05 - 0,3
Zn	0,03 - 0,5
Mo	0,005 - 0,015

Fuente: Agristar Ltda.2006.

Cuadro 2. Tratamientos del ensayo.

Table 2. Treatments evaluated.

<i>Tratamiento</i>	<i>Volumen de alvéolo (cc)</i>	<i>Diámetro superior (mm)</i>	<i>Diámetro inferior (mm)</i>	<i>Profundidad (mm)</i>	<i>Alvéolos/bandeja</i>
T1	12	24	11	43	200
T2	16	25	12	45	162
T3	32	32	18	48	105
T4	43	38	22	46	72

de los plantines alcanzaron el estado de 2 a 3 hojas verdaderas; para tal efecto se tomaron 15 plantines en forma aleatoria por tratamiento y por repetición. Se dispusieron en camellones con un marco de plantación de 20 cm sobre hilera y 30 cm entre hilera. Se fertilizó con 14 U de P ha⁻¹ y 9,15 U de

K ha⁻¹, las cuales fueron aplicadas en forma de fosfato monopotásico (K₂HPO₄). La fertilización con fósforo y potasio se aplicó al momento del trasplante, localizado en un surco contiguo a la hilera de plantación. La fertilización nitrogenada se realizó mediante la aplicación de salitre sódico

(NaNO_3) a razón de 20 U de N ha^{-1} , al lado de la hilera de plantación luego del primer riego. Estas cantidades correspondieron a un décimo de la dosis correspondiente a todo el ciclo de cultivo debido a la corta duración del periodo de evaluación. El riego se efectuó por goteo utilizando cintas con un flujo de 4 L h^{-1} por emisor y 20 cm de distancia entre éstos. El control de malezas post trasplante se realizó manualmente acorde a las necesidades.

Evaluaciones

Las evaluaciones del ensayo se realizaron durante el almácigo, al momento del trasplante y a los 20 días después de éste.

a) Almácigo. Para caracterizar la velocidad de desarrollo de los plantines en cada tratamiento se registró el número de días y se calcularon los días grado desde siembra a: Emergencia, Cotiledones expandidos, Aparición de la primera hoja verdadera y 2-3 hojas verdaderas (momento del trasplante). Se consideró la ocurrencia de cada uno de estos estados fenológicos cuando el 50 % de los plantines de cada tratamiento y repetición alcanzaron dicho estado. Para el cálculo de los días grado (DG) se registraron las temperaturas máximas y mínimas durante el ensayo, determinándose la temperatura media y se le restó la temperatura umbral de crecimiento para esta especie de acuerdo a la fórmula propuesta por Arnold (1959):

$$\text{DG} = \sum \left(\frac{T^{\circ} \text{máx} + T^{\circ} \text{mín}}{2} - T_u \right)$$

Las temperaturas máximas y mínimas del período de almácigo (producción de plantines) se detallan en el Cuadro 3.

T_u = temperatura umbral de crecimiento de la especie. Se consideró 10 °C (Rick, 1978).

Cuadro 3. **Temperaturas máximas y mínimas del aire.**

Table 3. **Maximal and minimal air temperature.**

Fecha	Temperatura del aire	
	T° Máxima (°C)	T° Mínima (°C)
29-Ene-05	24,01	11,38
30-Ene-05	21,33	6,62
31-Ene-05	26,73	7,03
01-Feb-05	32,76	10,60
02-Feb-05	28,31	11,77
03-Feb-05	30,71	11,38
04-Feb-05	30,71	11,77
05-Feb-05	27,52	12,55
06-Feb-05	29,10	10,99
07-Feb-05	29,10	11,77
08-Feb-05	34,85	12,55
09-Feb-05	35,70	13,70
10-Feb-05	32,34	13,70
11-Feb-05	22,86	13,70
12-Feb-05	23,24	13,70
13-Feb-05	27,52	12,16
14-Feb-05	29,50	11,77
15-Feb-05	30,71	11,77
16-Feb-05	30,71	12,93
17-Feb-05	25,17	13,32
18-Feb-05	31,12	12,93
19-Feb-05	29,50	13,70
20-Feb-05	31,12	16,00
21-Feb-05	31,12	14,47
22-Feb-05	31,93	13,32
23-Feb-05	32,34	13,70
24-Feb-05	30,71	14,47
25-Feb-05	35,70	16,00
26-Feb-05	32,76	16,00
27-Feb-05	25,95	14,47

b) Transplante. Para evaluar el crecimiento de los plantines, al momento del transplante se efectuaron las siguientes mediciones: **Altura de la planta** (Desde el cuello hasta el extremo apical); **Diámetro del tallo bajo los cotiledones** (Se usó un pie de metro); **Longitud del hipocotilo** (Se utilizó una regla centimétrica); **Área foliar** (Se utilizó un integrador de área foliar LI-COR modelo LI-3000A); **Peso fresco de la parte aérea** (Se empleó una balanza analítica marca Adam de 0,1 mg de precisión); **Peso seco de la parte aérea** (Las muestras se secaron en una estufa marca Labtech a 70 °C hasta peso constante); **Peso seco de raíces** (Las raíces fueron lavadas previamente con una solución detergente al 10 % para separarlas del sustrato y posteriormente fueron secadas en una estufa marca Labtech a 70 °C hasta peso constante).

c) Establecimiento. Transcurridos 20 días desde el transplante, se realizaron las siguientes mediciones: **Porcentaje de plantas perdidas** (Se contó el número de plantas que presentaron síntomas de marchitez o muerte absoluta); **Área foliar**; **Nº de hojas totales**; **Contenido de clorofila** según método de Lichtenthaler y Wellburn (1983), para ésto se sacaron discos de 1,32 cm² desde los folíolos distales de la cuarta hoja verdadera. Se obtuvo una muestra por repetición compuesta de cuatro discos sacados cada uno de una planta distinta. Cada muestra se maceró con 1 mL de etanol 96 % (v/v). Luego se llevó por 4 minutos a 5.000 rpm y a 4 °C a una centrífuga (Eppendorf, modelo 5403) y al sobrenadante se le midió la absorbancia a 470, 649 y 665 nm con un espectrofotómetro UV- visible (Shimadzu, modelo UV-1601, Japón). Para transformar las lecturas de absorbancia a contenido de clorofila se utilizaron las ecuaciones siguientes: $Chl\ a = 13,96 \times A_{665} - 6,88 \times A_{649}$; $Chl\ b = 24,96 \times A_{649} - 7,32 \times A_{665}$; $C\ x+c = (1000 \times A_{470} - 2,05\ Chl\ a - 114,8 \times Chl\ b) / 245$. El contenido de clorofila se determinó en $\mu g\ mL^{-1}$ y se expresó en base a superficie

de hoja (cm²).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos aleatorizados, en donde los tratamientos constaron de cuatro repeticiones. La unidad experimental en el período de almácigo fue de 72 plantines por bandeja, siendo la unidad muestral 9 plantines. Cuando éstos fueron trasplantados a condiciones de campo, la unidad experimental fue de 15 plantas por repetición y la unidad muestral de 4. En terreno se respetó el diseño utilizado durante el almácigo.

Análisis estadístico

Para determinar diferencias entre tratamientos los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza con un nivel de significancia de 5 %. Cuando se detectaron diferencias significativas se hizo una prueba de comparación múltiple de acuerdo al método Tukey. Los datos obtenidos en el número de hojas por planta fueron corregidos previo al análisis de varianza, usando la ecuación: $x = \sqrt{(N^\circ \text{ de hojas} + 1)}$ (Little y Hills, 1976). Por otra parte, para relacionar las distintas variables se efectuó un análisis de correlación y cuando se obtuvo un coeficiente de correlación alto se realizaron regresiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de los plantines

Los plantines producidos en alvéolos de 43 cc demoraron en promedio 9,8 días en emerger, siendo más precoces que aquellos producidos en alvéolos de 12 cc que tardaron 12,8 días ($p \leq 0,05$). Los plantines obtenidos en alvéolos de 16 y 32 cc demoraron 12,0 y 10,3 días promedio respectivamente, siendo estadísticamente iguales a los plantines producidos en alvéolos de 43 y 12 cc ($p \leq 0,05$) (Cuadro 4). Respecto de los días grado hasta la emergencia, se observó que los plantines correspondientes al trata-

miento en alvéolos de 43 cc necesitaron una menor cantidad de días grado acumulados que aquellos producidos en alvéolos de 12 cc ($p \leq 0,05$). En cuanto a los tratamientos de 16 y 32 cc, al igual que en los días cronológicos, la sumatoria de días grados fue intermedia entre los tratamientos 12 y 43 cc, no presentando diferencias con éstos ni entre sí ($p \leq 0,05$). La diferencia en el tiempo de emergencia influye directamente en la acumulación de días grado. La cantidad de días que demoró la emergencia pudo haber variado por las condiciones internas presentes en el sustrato de los distintos alvéolos tales como la cantidad de agua, ya que se observó que el sustrato se secaba más rápido en los alvéolos de menor volumen, lo cual dejaba una menor cantidad de agua disponible para la germinación de las semillas lo cual también retardó la emergencia. El retardo en la emergencia de los plantines producidos en los alvéolos más pequeños podría atribuirse a la compactación del sustrato debido a la presión ejercida por las paredes del alvéolo, lo cual habría provocado la disminución de la porosidad del sustrato produciendo una baja capacidad de aireación y una menor oxigenación (Bennie, 1991).

Al realizar una regresión para relacionar la emergencia con los volúmenes de alvéolos, se obtuvo un valor promedio del R^2 de 0,76 ajustándose a un modelo lineal. Si bien el volumen de alvéolo afectó la velocidad de emergencia de los plantines, no incidió en el porcentaje final de ésta, la cual fue similar en todos los tratamientos obteniéndose valores entre 94 % y 99 %. El alto porcentaje de emergencia obtenido se puede explicar por las temperaturas registradas durante el período de realización del ensayo (Cuadro 3). Este comportamiento concuerda con lo señalado por Bravo y Aldunate (1988), quienes indican que la temperatura óptima de germinación para el tomate varía entre 20 °C y 30 °C. En cuanto a los días transcurridos hasta cotiledones expandidos, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), no obstante lo anterior, se observó que a mayor volumen del alvéolo utilizado menor es el número de días para alcanzar dicho estado (Cuadro 4). El volumen de alvéolo no afectaría la precocidad de los plantines para llegar al estado de cotiledones expandidos, lo cual indicaría que las condiciones propias

Cuadro 4. Número de días y Días grado (DG) promedio acumulados desde siembra a distintos estados fenológicos, por plantines producidos en cuatro volúmenes de alvéolos

Table 4. Accumulated average days number and degree days (DG) from sowing to different phenological stages in seedlings produced in four cell size.

Volumen de alvéolo (cc)	Emergencia		Cotiledones expandidos		1ª hoja verdadera		2ª hoja verdadera	
	Días	DG	Días	DG	Días	DG	Días	DG
12	12,8a ¹	159,9a	16,5a	199,9a	23,0a	280,2a	25,5a	313,9a
16	12,0ab	152,8ab	15,3a	185,8a	21,8ab	263,6ab	24,8a	303,8a
32	10,3ab	136,5ab	13,5a	166,4a	21,0b	254,0b	22,0b	266,7b
43	9,8b	131,2b	13,0a	161,1a	20,8b	250,8b	21,5b	260,3b

¹En cada columna, valores seguidos de una misma letra no presentan diferencias significativas entre sí (Tukey 5 %).

del sustrato fueron adecuadas para todos los tratamientos y las pequeñas diferencias serían atribuibles a otros factores. Por otra parte, al estado de cotiledones expandidos las raíces aún no entran en contacto con las paredes del alvéolo ya que recién se está iniciando el crecimiento acelerado y ramificación de las mismas, por lo cual el volumen de alvéolo aún no constituye una limitante. Según se observa en el Cuadro 4, al estado de 1ª hoja verdadera se registraron diferencias ($p \leq 0,05$) entre tratamientos en la acumulación de días grado y en el tiempo cronológico, existiendo una menor acumulación de DG en plantines producidos en alvéolos de 43 cc, 32 cc y 16 cc y una mayor acumulación en aquellos producidos en alvéolos de 12 cc. Los plantines producidos en alvéolos de 43, 32 y 16 cc demoraron en promedio 20,8; 21,0 y 21,8 días, respectivamente, mientras que los producidos en alvéolos de 12 cc demoraron 23 días, lo cual evidencia mayor precocidad en los plantines de los tratamientos con mayor volumen de alvéolos. El desarrollo más rápido de los plantines producidos en alvéolos de mayor volumen podría atribuirse a un menor estrés general, mayor disponibilidad de agua y nutrientes, lo que se traduce en un crecimiento mayor de la parte aérea y radical (Vavrina, 2004). Al analizar la acumulación de días grado al estado de 2ª hoja verdadera se observó que el efecto del volumen del alvéolo sobre la velocidad de desarrollo de los plantines se acentuó. Si bien no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de 32 cc y 43 cc ni entre los tratamientos de 12 cc y 16 cc, sí se detectaron entre ambos grupos. Los plantines de los tratamientos de 32 cc y 43 cc demoraron 22,0 y 21,5 días promedio en alcanzar dicho estado, respectivamente, mientras que los plantines producidos en los tratamientos con 12 cc y 16 cc demoraron 25,5 y 24,8 días, respectivamente. En la regresión realizada para esta variable los valores de R^2 fueron altos y significativos, con valores de 0,81 y 0,89

para las variables 1ª y 2ª hoja verdadera, respectivamente. Los resultados obtenidos en estas evaluaciones concuerdan con los reportados por Kemble *et al.*, (1994), quienes estudiando plantines de tomate observaron que éstos fueron más precoces al aumentar el volumen de los alvéolos.

Crecimiento de los plantines

Altura de planta

Al estado de 2ª hoja verdadera se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento con 12 cc y los tratamientos con 16, 32 y 43 cc, respectivamente, siendo estadísticamente iguales los tres últimos (Cuadro 5). Los plantines más altos se obtuvieron en los alvéolos de un mayor volumen, concordando con los resultados reportados por Weston y Zandstra (1986), Kemble *et al.*, (1994), Marr y Jirak (1990), Garton (1997) y Vavrina (2001). La regresión para esta variable alcanzó un R^2 alto y significativo (0,87). Si bien la altura es una variable indicadora del crecimiento de las plantas, no se ha establecido cual es la altura de plantin óptima y/o la de mayor aceptación, ya que depende de las condiciones culturales en la fase post trasplante, de tal forma, son amplios los rangos reportados. No obstante lo anterior, en la literatura son frecuentes valores de altura de plantines a transplantar entre 10 y 15 cm (Hotchmuth, 2001), 12 a 17 cm (Garton, 1997). En el presente ensayo, los plantines producidos en alvéolos de 16, 32 y 43 cc se encuentran entre dichos rangos, quedando fuera de éstos los plantines producidos en alvéolos de 12 cc con una altura promedio de 8,9 cm. La menor altura presentada por los últimos se explicaría por la estimulación que sufren las raíces al entrar en contacto con las paredes del alvéolo, contribuyendo al alza en los niveles de ABA y etileno en la parte aérea (Peterson *et al.*, 1991), mientras la translocación de citoquininas y giberelinas de las raíces hacia la parte aérea estaría

Cuadro 5. Diámetro de tallo bajo los cotiledones, longitud del hipocotilo y altura de plantines de tomate producidos en alvéolos de cuatro volúmenes distintos al estado de 2ª hoja verdadera.

Table 5. Stem diameter under cotyledons, hypocotyl length and plant height of tomato seedlings produced in four different cell size at two true leaf stage.

Volumen de alvéolo (cc)	Diámetro de tallo bajo cotiledones (mm)	Longitud del hipocotilo (cm)	Altura de planta (cm)
12	1,6a1	3,0a	8,9a
16	1,8ab	3,6a	11,4b
32	2,1bc	3,4a	12,6b
43	2,4c	3,1a	12,8b

¹En cada columna, valores seguidos de una misma letra no presentan diferencias significativas entre sí (Tukey 5 %).

inhibida (Carmi y Heuer, 1981) produciéndose el desbalance hormonal y la restricción del crecimiento aéreo de la planta.

Diámetro del tallo bajo los cotiledones y longitud del hipocotilo

Se obtuvieron diferencias significativas en el diámetro promedio de tallo entre plantines producidos en alvéolos de 12 cc versus 32 cc y 43 cc respectivamente, los últimos fueron estadísticamente iguales (Cuadro 5). Los plantines del tratamiento con 16 cc fueron iguales a los tratamientos con 12 cc y 32 cc. En la regresión se obtuvo un valor de R^2 igual a 0,8 entre el diámetro de tallo bajo los cotiledones y los volúmenes de alvéolos. El mayor diámetro de tallo de plantines (2,4 mm) se obtuvo en alvéolos de 43 cc, y el menor (1,6 mm) en plantines provenientes de alvéolos de 12 cc, concordando con los resultados reportados por Romano *et al.*, (2003) y Marr y Jirak (1990). Con respecto a la variable longitud del hipocotilo, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales ($p \leq 0,05$), con valores entre 3,0 y 3,6 cm (Cuadro 5). La elongación del hipocotilo ocurre durante la etapa de emergencia, la cual es muy breve, y como se observa los menores volúmenes

de alvéolos no influyeron en ésta.

Peso fresco y peso seco

En el análisis estadístico de las variables peso fresco de la parte aérea, peso seco de la parte aérea y radical al estado de 2ª hoja verdadera se observa que los tratamientos mostraron un comportamiento similar. Los valores más altos se obtuvieron con los alvéolos de mayor volumen (Cuadro 6). En la variable peso fresco, se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos de 43 cc y los de 12 y 16 cc, sin presentarse diferencias significativas entre estos dos últimos. Tampoco existieron diferencias significativas entre el tratamiento 32 cc y los tratamientos de 16 cc y 43 cc. El mayor peso fresco fue obtenido por los plantines producidos en el tratamiento de 43 cc con un valor de 1036,8 mg, mientras que el menor (439,7 mg) correspondió a los plantines del tratamiento con alvéolos de 12 cc. Con respecto a las variables peso seco de la parte aérea y radical, en el Cuadro 6 se observa que los plantines producidos en alvéolos de 43 cc registraron los valores más altos, pesando más del doble los plantines del tratamiento de 43 cc que los producidos en alvéolos de 12 cc. Estos

Cuadro 6. Peso fresco, peso seco de la parte aérea, peso seco de raíces y área foliar obtenidos de plantines de tomate producidos en cuatro volúmenes de alvéolos distintos al estado de 2ª hoja verdadera (momento de transplante).

Table 6. Aerial fresh and dried weight, roots dried weight and foliar leaf area of tomato seedlings produced in four different cell size at two true leaf stage (transplant moment).

Volumen de alvéolo (cc)	Peso fresco parte aérea (mg)	Peso seco parte aérea (mg)	Peso seco parte radical (mg)	Área foliar (cm ²)
12	439,7 a ¹	56,2a	15,3 a	7,5a
16	656,0 ab	73,8 ab	20,9 ab	10,2a
32	906,7 bc	114,2 bc	29,3 bc	16,7b
43	1036,8c	138,0 c	33,4 c	18,5b

¹En cada columna, valores seguidos de una misma letra no presentan diferencias significativas entre sí (Tukey 5 %).

resultados concuerdan con los reportados por Weston y Zandstra (1986) y por Kemble *et al.*, (1994). La diferencia entre la cantidad de materia seca presente en la parte aérea y radical se incrementa a partir de la utilización de alvéolos de 32 cc, quedando en evidencia al analizar la razón parte radical/parte aérea, con un valor de 0,272 en plantines producidos en alvéolos de 12 cc, en contraste con 0,242 obtenido por plantines provenientes de alvéolos de 43 cc. Las diferencias en peso seco de raíces entre plantines producidos en los alvéolos de menor volumen y los de mayor volumen se explicaría según Peterson *et al.*, (1991), por una significativa disminución en la capacidad respiratoria de las raíces de plantines de tomate sometidos a restricción radical, indicando una disminución del metabolismo de la raíz de éstos. Al restringir su crecimiento, las raíces compiten por fuentes esenciales aumentando su diámetro y disminuyendo el espacio para las raíces, conduciendo a la competencia por el oxígeno disponible (Peterson *et al.*, 1991 y Bennie, 1991). Cabe destacar que para las tres variables en estudio se obtuvo un coeficiente de determinación alto, con valores que fluctuaron entre 0,83 a 0,85. Se rea-

lizó una regresión para relacionar el peso seco de la parte aérea de los plantines del presente ensayo con el diámetro de tallo bajo los cotiledones obtenido en los distintos tratamientos, detectándose que existe una estrecha relación entre estas variables. Se observó que a medida que aumenta el diámetro de tallo, también lo hace el peso seco de la parte aérea de los plantines. El coeficiente de determinación (R^2) fue alto y positivo, con un valor de 0,91. Los valores más bajos correspondieron a aquellos provenientes de alvéolos de 12 cc, hasta llegar a los valores más altos, que fueron obtenidos por plantines producidos en alvéolos de 43 cc. Este resultado indica que la variable diámetro del tallo bajo los cotiledones es un indicador válido de la cantidad de materia seca presente en la parte aérea.

Área foliar

En el caso del área foliar, al estado de 2ª hoja verdadera no existieron diferencias significativas entre los tratamientos 12 cc y 16 cc, pero sí entre estos tratamientos y los correspondientes a 32 cc y 43 cc (Cuadro 6). Se presentó el mismo patrón anterior, con el valor más alto obtenido por planti-

nes producidos en alvéolos de 43 cc con un valor promedio de 18,5 cm² por planta, y el menor 7,5 cm² por planta, en plantines de alvéolos de 12 cc. El R² obtenido para esta variable respuesta fue alto y significativo (0,85). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Weston y Zandstra (1986) y Romano *et al.*, (2003). Los factores que explicarían la obtención de estos resultados en el área foliar y peso de la parte aérea estarían relacionados, al igual que la altura de las plantas, con el desbalance hormonal que se produciría por la restricción radical, lo cual altera la síntesis y traslocación de sustancias de crecimiento hacia la parte aérea, alterando su crecimiento (Carmi y Heuer, 1981). Al finalizar las evaluaciones correspondientes al estado de 2ª hoja verdadera, es importante destacar que existió una alta y positiva correlación ($p \leq 0,05$) entre desarrollo y crecimiento, lo cual se manifiesta en las siguientes variables: acumulación de días grado por plantines al estado de 2ª hoja verdadera y el diámetro de tallo, peso fresco, peso seco aéreo y radical y área foliar. Al evaluar el área foliar 20 días posteriores al trasplante, pese a que se observó una marcada diferencia entre los tratamientos con un amplio rango de variación en los resultados obtenidos, no

se presentaron diferencias significativas para esta variable entre los cuatro volúmenes de alvéolos evaluados (Cuadro 7). Esto se explicaría por el alto coeficiente de variación (CV) obtenido en el análisis de varianza, con un valor de 38,79.

Número de hojas y contenido de clorofila

En la variable número de hojas por planta veinte días después del trasplante no se presentaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos, no obstante lo anterior, se observó un valor levemente más alto en el número de hojas en los plantines producidos en alvéolos de 43 cc (Cuadro 7), con un promedio de 10,3 hojas por planta. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Romano *et al.*, (2003), quienes evaluando el número de hojas en plantines de tomate producidos en bandejas con volúmenes de alvéolos que fluctuaron entre 15,6 cc a 99,2 cc no evidenciaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Considerando que los plantines de tomate fueron trasplantados al alcanzar el estado 2ª a 3ª hojas verdaderas, se observó que rápidamente lograron establecerse en el campo, desarrollando una cantidad similar de hojas

Cuadro 7. Área foliar, número de hojas y contenido de clorofila obtenidos 20 días después del trasplante por plantines producidos en alvéolos de cuatro volúmenes distintos.

Table 7. Leaf area, leaves number and chlorophyll content of tomato seedlings produced in four different cell size evaluated 20 days after transplant.

Volumen de alvéolo (cc)	Área foliar (cm ²)	Contenido de clorofila (µg/cm ²)	Número de hojas
12	386,2a ¹	22,9a	8,8a
16	479,6a	26,0a	8,9a
32	427,5a	24,2a	8,9a
43	722,2a	23,0a	10,3a

¹En cada columna valores seguidos de una misma letra no presentan diferencias significativas entre sí (Tukey 5 %).

los plantines producidos en los cuatro tratamientos. El promedio general para esta variable fue de 9,24 hojas, a los 20 días post trasplante. En cuanto al contenido de clorofila (Cuadro 7), tampoco se presentaron diferencias entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), y los valores fueron muy similares con un promedio general de $24 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Romano *et al.* (2003), quienes al analizar esta variable tampoco evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos y un valor de R^2 de 0,3. Carmi *et al.*, (1983, citado por Dubik *et al.*, 1990), señalan que el contenido de clorofila comúnmente es utilizado como un indicador de senescencia prematura de hojas. En el presente ensayo, los resultados obtenidos confirman observaciones realizadas en campo, en las cuales no se detectó la presencia de plantas con síntomas de clorosis ni senescencia de hojas. Por otra parte, estudios realizados por Leskovar *et al.*, (1991) mostraron que plantines de tomate que permanecieron en bandejas alveoladas por 2 a 3 semanas presentaron un mayor contenido de clorofila que aquellos plantines que permanecieron por alrededor de 5 semanas, lo cual indica que las respuestas de las plantas también pueden variar en función del tiempo que los plantines permanecen bajo restricción radical. NeSmith y Duval (1998), señalan que la extensión del período que la planta permanece en la bandeja alveolada es un factor importante que debe ser considerado. Esto podría explicar el buen establecimiento en campo de los plantines del ensayo, ya que se trasplantó cuando alrededor del 80% de los plantines alcanzaron el estado de 2^a-3^a hoja verdadera. Sin embargo, fue evidente un desarrollo más tardío de aquellos plantines producidos en alvéolos de 12 cc y 16 cc, los cuales llegaron en menor cantidad a presentar la 3^a hoja verdadera. Es importante destacar que no existió pérdida de plantas en ningún tratamiento 20 días post trasplante, logrando un buen establecimiento en campo todos los planti-

nes, sin verse afectados por el volumen de alvéolo en que fueron producidos.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados y dadas las condiciones en las cuales se realizó esta investigación, es posible concluir que al estado de 2^a hoja verdadera se evidencia un menor crecimiento y desarrollo de plantines de tomate al ser producidos en alvéolos de menor volumen, y que la producción de plantines de tomate en alvéolos de distinto volumen no afecta su establecimiento en campo.

LITERATURA CITADA.

AGRISTAR LTDA. 2006. Disponible en: <http://www.agristar.com.br/descrag/substr-sunshinemix6.htm>. Leído el 12 de mayo de 2006.

ALVARADO, P. y ROJAS, R. 1996. Producción comercial de plantines libres de estrés. *Agroeconómico*, 34: 6-13.

ARNOLD, C. Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 74 : 430-435.

BASF. 2006. Disponible en: http://www.basf.cl/aislapol/productos/almaciguerras/cont_apl.html#. Leído el 03 de junio de 2006.

BENNIE, A. 1991. Growth and mechanical impedance. P.393-416. In: Y. Waisel, A. Eschel, and U. Kafkati (eds.) *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker, New York.

BLACKMORE COMPANY. 2006. Blackmore Company Plug Trays / punch'n gro™. Disponible en: <http://www.blackmoreco.com/plugtrays-bm.html>. Leído el 6 de mayo de 2006.

BODNAR, J. and GARTON, R. 1996. Growing vegetable transplants in plug trays. Order N° 96-023. Agriculture and Rural Division, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affaires, Ontario. Disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/96-023.htm>. Leído el 13 de mayo de 2006.

BRAVO, M. A. y ALDUNATE, V. P. 1988. El cultivo del tomate. *El Campesino* 119(7): 24-53.

CARMI, A. and HEUER, B. 1981. The role of roots in control of bean shoot growth. *Annals of Botany* 48: 519-527.

DUBIK, S. P., KRIZEK, D. T. and STIMART, D. P. 1990. Influence of root zone restriction on mineral element concentration, water potential, chlorophyll concentration, and partitioning of assimilate in spreading euonymus (*E. Kiautschovica* Loes. "sieboldiana"). *Journal of Plant Nutrition* 13(6): 677-699.

GARTON, R. W. 1997. Plug transplants for processing tomatoes: production, handling and stand establishment. Factsheets order No. 94-061. Ministry of Agriculture, Foods and Rural Affaires, Ontario. Disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/94-061.htm>. Leído el 15 de mayo de 2006.

HARTZ, T. K., GIANNINI, C., MIYAO, E. M. and VALENCIA, J. C. 2002. Divergent transplant production practices comparable growth, yield, and quality of processing tomatoes. *HortScience* 37(2): 296-299.

HOCHMUTH, G. J. 2001. Production of greenhouse tomatoes. Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook, Vol 3. Document HS788. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Disponible

en: <http://edis.ifas.ufl.edu/CV266>. Leído el 6 de abril de 2006.

JANG, S. W., KU, J. H., LEE, J. N., LEE, J. T., KIM, W. B., KIM, B. H and KIN, J. K. 1996. Effect of plug cell size and age of transplanted seedling on the growth and yield of tomatoes on alpine area. *RDA (Korea), Jour. Agric. Sci. Hort.* 38(1): 573-581. Disponible en: http://www.niha.go.kr/front/techon/fruits/tomato/tomato_thesis_04.htm. Leído el 2 de junio de 2006.

KELLEY, T. 2000. Commercial production of vegetable transplants. The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. Cooperative Extension Service. Bulletin 1144. Disponible en: <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubs/PDF/B1144.pdf>. Leído Consulta: 2 de Marzo de 2006.

KEMBLE, J. M., DAVIS, J. M., GARDNER, R. G. and SANDERS, D. C. 1994. Root cell volume affects growth of compact-growth-habit tomato transplants. *HortScience* 29(4): 261-262.

LESKOVAR, D. I., CANTLIFFE, D. G. and STOFFELLA, P. J. 1991. Growth and yield of tomato plants in response to age of transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 416-420.

LICHTENTHALER, H. and WELLBURN, A. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extract in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 603: 591-592.

LITTLE, T.M. and HILLS, F.J. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas, Mexico. 270 p.

MARR, C. W. and JIRAK, M. 1990. Holding tomato transplant in plug trays. *HortScience* 25(2): 173-176.

- MASTERPLANT. 2006. Gamma prodotti. <http://www.masterplant.it/italiano/prodotti.htm>. Leído el 3 de mayo de 2006.
- NESMITH, D. S. and DUVAL, J. R. 1998. The effect of container size. *HortTechnology* 8(4): 495-498.
- ODEPA. 2006. Mercado del tomate para consumo en fresco. Disponible en: <http://www.odepa.cl> Leído el 4 de junio de 2006.
- PETERSON, T. A., REINSEL, M. D. and KRIZEK, D. T. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. *Journal of Experimental Botany* 42 (10): 1241-1249.
- PROTEKTA LTDA. 2006. Sistemas de cultivo: bandejas plásticas termoformadas. Disponible en: <http://www.protekta.cl/>
- BANDEJAS.htm. Leído el 10 de junio de 2006.
- RICK, C.M. 1978. The tomato. *Scientific American* 239 (2): 76-87.
- ROMANO, D., PARATORE, A. and LI ROSI, A. 2003. Plant density and container cell volume on solanaceous seedling growth. *Acta Horticulturae* 614: 247-253.
- VALENZUELA, O. y GALLARDO, C. 2003. Sustratos Hortícolas. *Revista IDIA XXI: N°4*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Disponible en: www.inta.gov.ar/ediciones/idia/horticola/hortalizas03.pdf Leído el 5 de marzo de 2006.
- VAVRINA, C. S. 2001. Bigger is actually better: A study of transplant container cell size. Fact Sheet HS-814. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, IFAS Extension, University of Florida. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/HS107>. Leído el 27 de noviembre de 2005.
- VAVRINA, C. S. 2004. Transplant production. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, IFAS Extension, University of Florida. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/CV/CV10400.pdf> . Leído el 15 de diciembre de 2005.
- WESTON, L. and ZANDSTRA, B. 1986. Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplant. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 11: 498-501.

NOTA TÉCNICA

ESTUDIO PRELIMINAR DE UN SISTEMA INYECTOR DE AGROQUÍMICOS PARA PULVERIZADORAS.

Preliminary study of an agro-chemical injector system for sprayers

IAN HOMER B. y PATRICK GUERRA E.

Departamento Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santa Rosa 11315, Santiago, Chile. E-mail: ihomer@uchile.cl

RESUMEN

Se diseñó y evaluó un sistema inyector de agroquímicos en el Laboratorio de Mecanización perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Este sistema se diseñó para ser utilizado en pulverizadoras (para cultivos o fruticultura) donde los agroquímicos sean inyectados justo antes de la barra de aplicación. El sistema permite variar la concentración del producto, dosificar de forma precisa y uniforme durante la aplicación, ya que no genera un pulso de inyección, permitiéndose su uso en agricultura de precisión.

De esa manera, múltiples sistemas de dosificación neumático fueron diseñados y probados. Uno de ellos consiste en un depósito con tres salidas, donde cada una de ellas tiene caudal diferente, pudiéndose abrir y cerrar mediante electroválvulas. A su vez, el caudal se puede variar, cambiando la presión del dosificador (correlaciones entre 0,9-0,988). Así, a una presión dada, esas tres salidas permiten 7 combinaciones de caudales (combinación de salidas: 1, 2, 3, 1-2, 1-3, 2-3, 1-2-3). En numerosos ensayos efectuados, la dosificación obtenida nunca superó a un 5% de la dosificación esperada.

PALABRAS CLAVES: Agricultura precisión, Aplicaciones agroquímicos

ABSTRACT

An agro chemicals pneumatic dosage system was designed and evaluated at the Engineering and Soil Department of the University of Chile.

The system was designed to be used in hydraulic sprayers. The agro chemical are injected just before the hydraulic system (loaded with water only) is distributed towards the nozzles. Therefore the system allows to change the product concentration in a precise and uniform way, since no injection pulse is developed, having a high potential for variable rates applications use.

Many systems of agro chemicals pneumatic dosage for a hydraulic sprayer were designed and evaluated. One of the systems consists of three exits with different volumes, controlled by electric valves. At the same time, volumes can be varied on changing pressure (correlation of 0,96-0,988). In that way, at a given pressure, these three exits allow 7 different dosifications (combinations of exits: 1, 2, 3, 1-2, 1-3, 2-3, 1-2-3). In numerous trials, the dosage within a certain time never varied over 5% of the requirements.

KEY WORDS: Variables rates application, agrochemical application.

INTRODUCCIÓN

Debido a que la mecanización en si sola, no asegura el éxito de una faena, ésta debe estar acompañada del buen uso y mantenimiento de los equipos; de una adecuada gestión administrativa y del uso de un paquete tecnológico adecuado (Hetz *et al*, 1978).

En la actualidad, existen numerosos sistemas de aplicación de productos fitosanitarios como: pulverizadores hidráulicos, neumáticos, hidráulicos con inyección de aire, centrífugos, termoneumáticos y con asistencia electrostática. Todos ellos buscan una mayor eficiencia en el uso de los recursos productivos, como también un bajo impacto ambiental (Villa, 2001; Vázquez, 2004). Los diseños de los sistemas de aplicación nombrados anteriormente apuntan a ser eficientes tanto en la generación de gotas del producto, como en su transporte, pero dejando de lado el factor humano involucrado en la operación.

Tradicionalmente, el operario realiza una mezcla previa del producto químico, para posteriormente introducirlo en el depósito, realizándose la regulación de cantidad de producto aplicado según la cantidad de líquido aplicado, y por ende, de ingrediente activo presente.

Una forma de conseguir una mayor eficiencia en la aplicación y tener un mayor control de ellas sería, inyectar el producto fitosanitario justo antes de las boquillas de aplicación. Este sistema permitiría un ahorro de producto, ya que es una práctica habitual que quede un remanente de producto mezclado (caldo), debido a un mal cálculo por parte del operario o por no haber realizado el trabajo como se había planificado (Vázquez, 2004). A su vez, esta metodología permitiría mantener el depósito sin restos de químicos, esto es debido a que el estanque principal, que normalmente tiene la mezcla del producto con agua, solo tendrá agua, y en otro pequeño estanque lateral de unos 15 L tendrá

el producto químico, permitiendo mayor libertad para ser utilizado para diferentes agroquímicos.

Hidráulicamente los sistemas de inyección se dividen en dos: los que operan utilizando la energía cinética de un fluido que obra como elemento motor, y los que inyectan fluido con un sistema presurizado (Faisandier, 1965). En el primer sistema de inyección, está el Venturi (hidroinyector) utilizado para el llenado del depósito de la máquina de aplicación, en sistemas de dosificación de combustibles y en sistemas de fertirrigación (Vázquez, 2004), este sistema tiene la ventaja de no tener piezas móviles, pero tiene la desventaja de tener una respuesta lenta ante un cambio en la velocidad del fluido, lo que generaría una mezcla más pobre lo que perjudicaría la precisión de la máquina. El otro sistema, utiliza una bomba, la que presuriza el líquido a inyectar. Existiendo una gran variedad de bombas: pistón, pistón – membrana, membrana, rodillos, centrífugas y las de engranajes. La desventaja de estas bombas es que cuentan con piezas móviles susceptibles al desgaste y deben resistir la acción corrosiva del ingrediente activo. Además las bombas de pistón, membrana y pistón–membrana, generan un pulso en la inyección lo que provocaría una dosificación dispereja.

Por otro lado, las ventajas de una pulverizadora con un sistema dosificador de agroquímicos, son: no es necesario preparar un caldo, lo que permite un ahorro de tiempo y mayor seguridad para el operario, máximo aprovechamiento del producto, además el sobrante puede ser utilizado nuevamente, pudiéndose además, mediante sistemas electrónicos, adecuar durante el tratamiento la dosis de ingrediente activo al estado del problema que se combate en un criterio de dosis variable (Vázquez, 2004). Además de las ventajas señaladas anteriormente, se puede agregar un ahorro en la fabricación de la máquina; dado que la bomba principal solo estaría en con-

tacto con agua limpia, su fabricación sería más barata que las máquinas comunes, las cuales deben ser fabricadas con materiales que soporten la corrosión de los ingredientes activos de los plaguicidas (cerámicas o acero inoxidable). (Faisandier, 1965; Villa, 2001; Vázquez, 2004).

La ventaja más significativa de este sistema, es el ahorro en el costo de una máquina y su mantención, ya que con una misma pulverizadora o nebulizadora se podría aplicar diferentes productos fitosanitarios (ej. herbicidas e insecticidas) sin la necesidad de tener una maquina para cada uno (Guerra, 2006).

Por otro lado, el sistema de dosificación de producto sería una herramienta útil para la agricultura de precisión, ya que se aplicaría producto según las condiciones particulares de diversos sitios de un potrero y no generalizando la dosis como se realiza comúnmente.

Por lo tanto, el objetivo general del presente trabajo es: Diseñar, construir y evaluar un sistema dosificador de agroquímicos para una pulverizadora hidráulica a un bajo costo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El desarrollo de esta investigación se realizó en el Laboratorio de Mecanización Agrícola del Departamento de Ingeniería y Suelos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de La Universidad de Chile, Comuna de La Pintana, Santiago de Chile.

Para la evaluación del sistema dosificador, se utilizaron en conjunto dos bancos de prueba del Laboratorio de Mecanización, a) banco de pruebas consistente en una bomba de pistones Parada (B-C2C), cuya capacidad es de $100 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, impulsada por un motor trifásico de 10 Hp de potencia; su correspondiente campana de aire, filtros y manómetros, además un depósito de 200

L de capacidad y, b) un banco de prueba (Ludmack, Cambridge, England) con una bomba de engranajes y múltiples sistemas de medición y control de flujos, donde no se utilizó la bomba, sino que el resto de los implementos. El sistema de aire se componía de un compresor, un estanque de acumulación, una llave de salida graduada y un caudalímetro marca Key Instrument (modelo 563).

Metodología

Para el desarrollo del presente prototipo, se trabajó en tres etapas:

1^{era} se realizaron diferentes diseños de sistemas de dosificación y de inyección, 2^{da} se hizo las respectivas evaluaciones 3^{era} con la información previa, se realizó un diseño final el cual se evaluó.

Los criterios de selección del mejor diseño fueron:

- 1) Que trabaje independientemente de la red hidráulica (solo agua en el depósito)
- 2) Construcción y mantenimiento simple y de bajo costo.
- 3) Que dosifique agroquímicos líquidos.
- 4) Que pueda ser usado en pulverizadoras de barra y nebulizadoras (para cultivos y huertos frutales).
- 5) Que permita una adecuada regulación de dosis.
- 6) Que se pueda variar las dosis y que sea en forma rápida

En la primera etapa se ensayaron por separado diferentes sistemas de dosificación (como fueron: venturi, variación de presión de aire a salida constante, variación regulador de caudal a presión constante, variación de salida y de presión; entre otros) y de inyección (venturi, presurizado, entre otros). El diseño de los dosifica-

dores ensayados, se realizaron según los requerimientos de dosis y características físicas del producto, para ello se revisaron las distintas concentraciones recomendadas por los distintos fabricantes de agroquímicos, para de esa forma, determinar las dosis máximas y mínimas a inyectar, como de las propiedades físicas de estos,

realizándose pre-ensayos de calibración y de comportamiento.

En la Figura 1 se muestra el esquema general de una pulverizadora y los sistemas a diseñar, los cuales serían el dosificador e inyector de agroquímicos líquidos (SDAP).

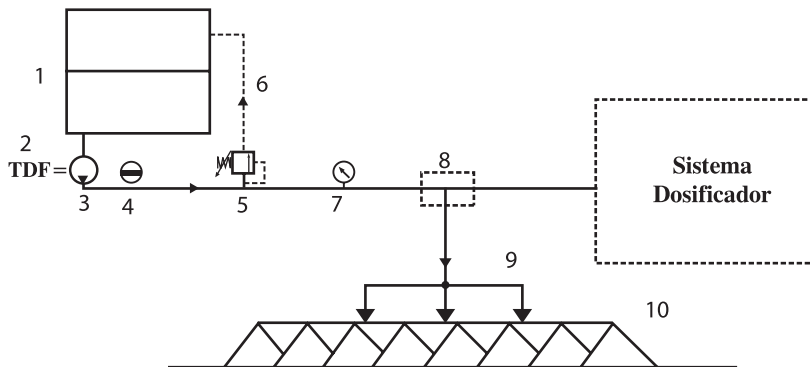


Figura 1. Esquema general, 1) Depósito de agua, 2) Toma de fuerza, 3) Bomba, 4) Acumulador de presión, 5) Regulador de presión, 6) Retorno, 7) Manómetro, 8) Sistema de inyección, 9) Sistema de distribución, 10) Barra pulverizadora.

Figure 1. General scheme, 1) Water tank, 2) Power connection, 3) Pump, 4) Pneumatic accumulator, 5) Pressure controller, 6) Return, 7) Pressure gauge, 8) Injection System, 9) Distribution system, 10) Pulverizing bar.

En la etapa dos, de evaluación de los pre-diseños, se realizaron mediciones para caudales entregado por barras de 12 y 4 m (4 m debido a que las barras están separadas en 3 secciones), con preparaciones (sin agroquímicos) que consideren puntos críticos como: dosis mínima y máxima, aunque sin abarcar diferentes viscosidades, ya que se realizaron los ensayos con agua. Se midió el caudal inyectando durante un periodo de tiempo, que representó la aplicación para una hectárea. Durante este tiempo se tomaron cada 2 minutos mediciones con el caudalímetro y mediante otros métodos (ej: balanza donde se pesaron el volumen recolectado durante un minuto).

Posteriormente se tomó la decisión de qué

sistema de dosificación y de inyección es el mas adecuado, realizándose un nuevo diseño (se expone en este trabajo) que fue evaluado en mayor profundidad, considerando diferentes dosis.

Estos requerimientos orientaron el proceso de diseño y de evaluación del sistema del prototipo base. Estadísticamente se contemplo como una buena aplicación, que la tasa de inyección no variase más de un 5%, con respecto a lo esperado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema de impulsión

Generalmente se utiliza una bomba para

generar un diferencial de presión para poder inyectar un líquido en otro, pero como una bomba no cumpliría con algunos de los parámetros de minimizar (partes móviles en contacto agroquímicos, caudal constante, entre otros), se optó por la energía neumática para presurizar el líquido a inyectar, esto debido a sus características, que son entre otras: ser una energía que se puede almacenar y ser transportada, regular su flujo con facilidad, regular los esfuerzos en los elementos de trabajo, controlando la presión del fluido, de una forma simple y con tiempos de respuestas cortos. Además de estas características que cumplen con los criterios de diseño antes mencionados, esta energía permite tener un sistema de menor costo, ya que utiliza para su generación, un compresor, el cual no está en contacto con los agroquímicos, además como esta energía es almacenable, el compresor

no funcionaría durante toda la aplicación solo fracciones de ésta, lo que constituye en un menor desgaste, no así una bomba común que debería estar en contacto con el agroquímico y funcionar durante toda la aplicación, lo que constituiría un mayor costo de fabricación y mantenimiento del sistema.

Sistema de dosificación

Básicamente el sistema consiste en un recipiente hermético en donde se le coloca en su interior el producto químico que se pretende inyectare a la red, el sistema cuenta con una salida de líquido y una entrada de aire a presión, así, la dosificación se podrá variar de dos formas, aumentando la presión o bien aumentando la apertura de salida.

Por ejemplo, en la Figura 2 se muestra el

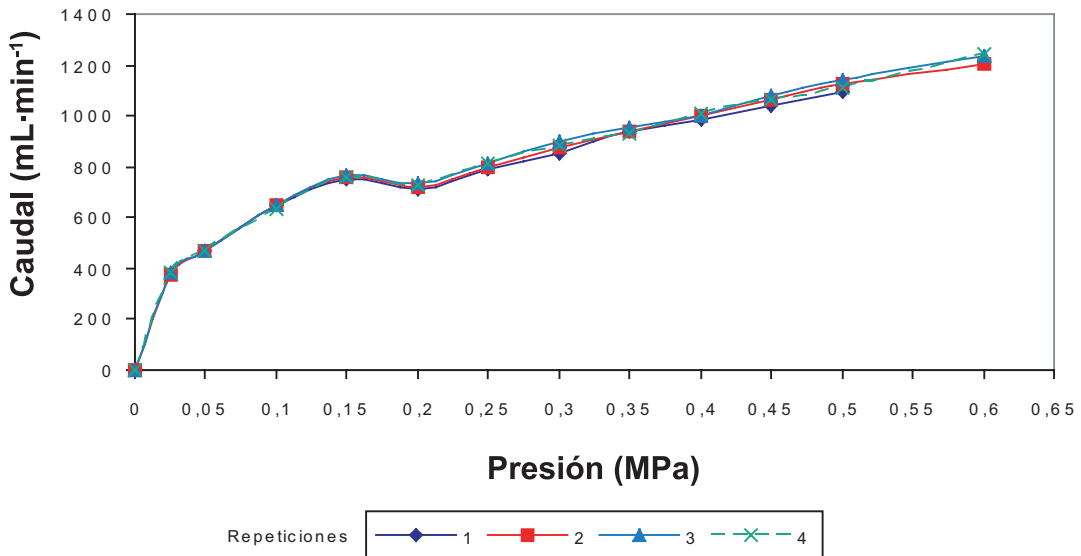


Figura 2. Caudal entregado mediante una perforación de un 1 mm de diámetro, a medida que se varía la presión (cuatro repeticiones).

Figure 2. Volume given by one 1 mm diameter perforation, at different pressures (four replicates).

caudal obtenido a diferentes presiones de entrada de aire, y una salida de tamaño constante que corresponde a una perforación de 1mm de diámetro ($0,785 \text{ mm}^2$).

Regulación por combinaciones de secciones constantes

Una forma sencilla de obtener un número limitado de caudales diferentes es tener en el depósito de producto químico múltiples salidas de diversos caudales cada una activadas por electro válvulas (a una presión fija).

De esa forma, si se tienen varias salidas, y cada una tiene un caudal diferente, se podrá ajustar las dosis según cuál o cuáles salida se ocuparán. En la figura 3, se muestra un ejemplo de tres salidas, donde es posible obtener 7 combinaciones de dosis (salidas: 1, 2, 3, 1+2, 1+3, 2+3, 1+2+3), mostrándose en la figura 4 el caudal obtenido por cada una de esas combinaciones a medida que se modificaba la presión del

sistema neumático de dosificación.

Una aplicación práctica de éste sistema de dosificación puede ser la variación de la dosis a aplicar por ejemplo un herbicida o de abono foliar según un plano de requerimientos, se puede seleccionar una presión, que satisfaga los diferentes rangos de producto que se pretende aplicar. Por ejemplo, en la Figura 4 si se selecciona la presión de 0,1 MPa se obtienen siete caudales de inyección diferentes ($159,93 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $212,27 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $425,6 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $372,2 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $585,53 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $637,87 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $797,8 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$).

Con los mismos datos vistos en el ejemplo anterior de 0,1 MPa, en la figura 5 se muestra, los caudales entregados por esas 7 combinaciones y su efecto al ir seleccionado diferentes velocidades de avance de la maquina. De esa forma, si se desearan aplicar dosis de 1; 2,3 y 4 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ y una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{hr}^{-1}$, las combinaciones adecuadas para poder aplicar esas dosis serían

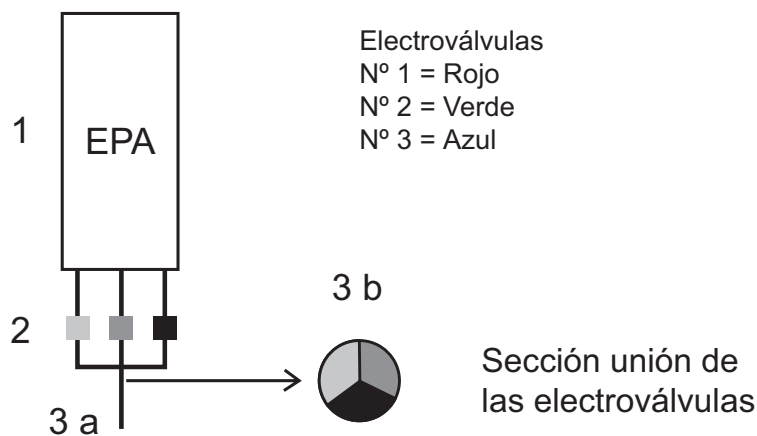


Figura 3. Esquema de disposición de las electro válvulas en el SDAP. 1) Depósito producto agroquímicos 2) Combinación de electro válvulas 3a) Unión y conexión a inyector 3b) detalle de la unión de las tres secciones.

Figure 3. Scheme of electro valves disposition in the SDAP. 1) Agro-chemical product deposit 2) Combination of electro valves 3a) Union and connection to injector 3b) Detail of the three union sections.

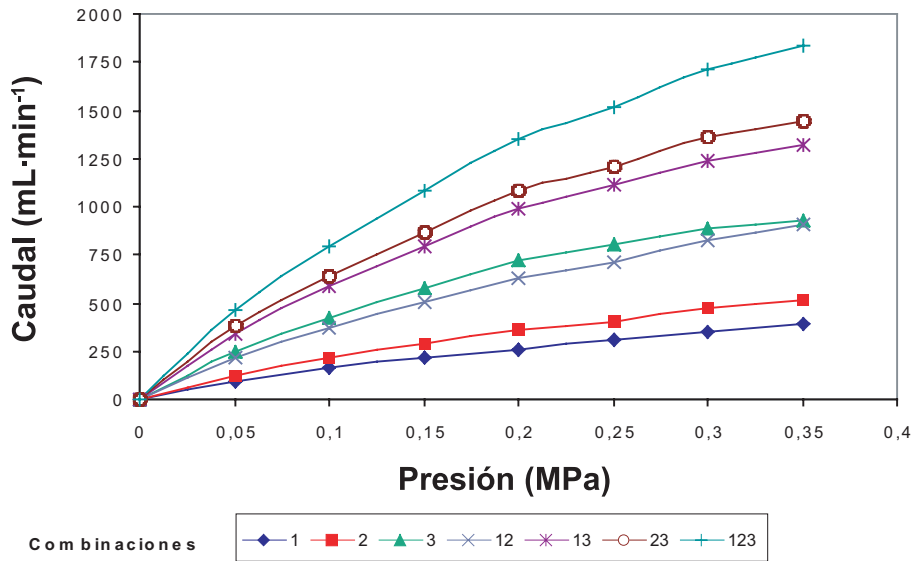


Figura 4. Caudal entregado por las siete combinaciones de secciones, a diferentes presiones.

Figure 4. Volume given at different pressures by the seven section combinations.

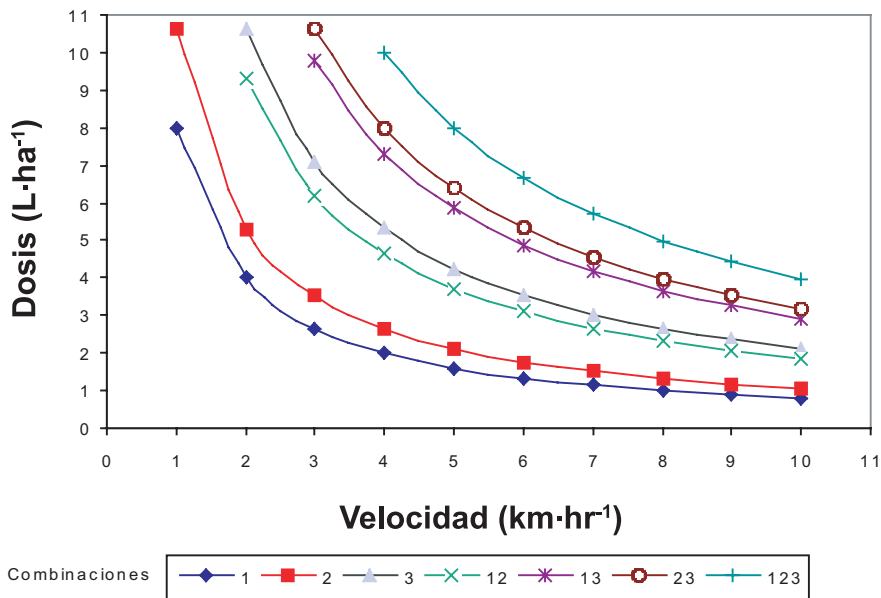


Figura 5. Dosis de aplicación a diferentes velocidades de aplicación, entregadas por las siete combinaciones a presión constante de 0,1 MPa.

Figure 5. Application rates, given at different speed, with the seven combinations and a pressure of 0,1 MPa.

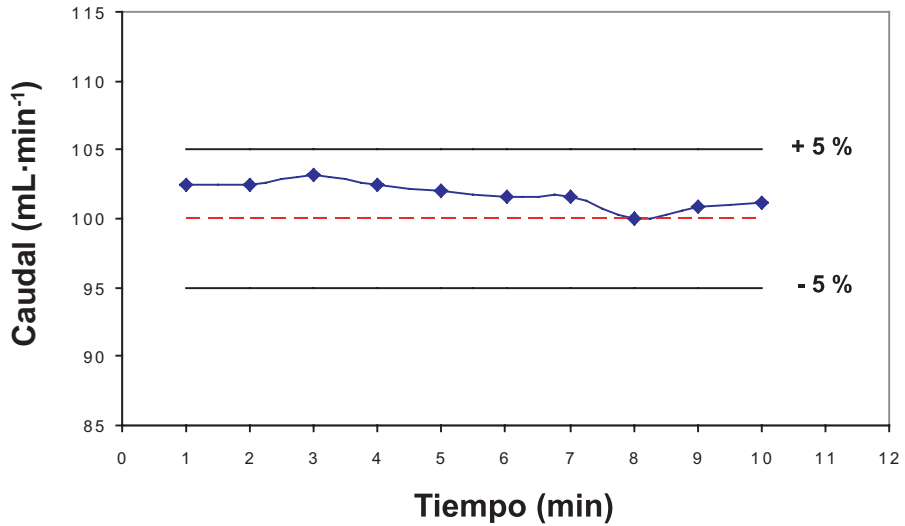


Figura 6 Simulación de aplicación de 1L·ha⁻¹ (100 mL·min⁻¹), durante 10 minutos, respecto al valor esperado (línea discontinua) y el intervalo de ± 5%

Figure 6 Application simulation of 1L·ha⁻¹(100 mL·min⁻¹), during 10 minutes, in respect to the awaited value (discontinuous lines) and the interval of ± 5%.

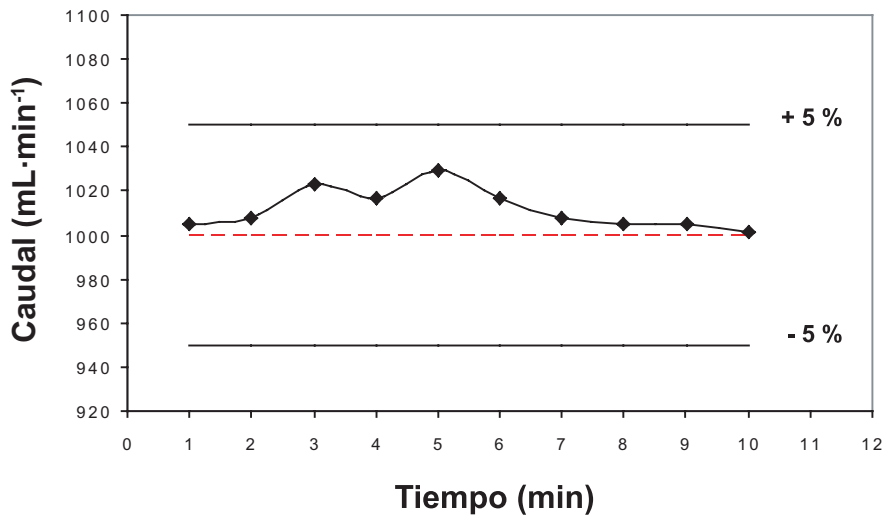


Figura 7. Simulación de aplicación de 10 L·ha⁻¹(1000 mL·min⁻¹), durante 10 minutos, respecto al valor esperado (línea discontinua) y el intervalo de ± 5%

Figure 7 Simulation of application of 10 L·ha⁻¹(1000 mL·min⁻¹), during 10 minutes, as related to the expected value (discontinuous lines) and the interval of ± 5%.

las secciones: 1, 1+2, y 2+3 respectivamente. Con un retardo de reacción de cambio de dosificación de la electroválvula (según catálogo) de 27 ms.

Con respecto al funcionamiento del equipo en el tiempo, en la figura 6 y 7 se muestra los resultados obtenidos al hacer funcionar el dosificador en dos dosis, una mínima ($1\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$) y otra alta ($10\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$) durante 10 minutos, lo que correspondería a una hectárea. Como se aprecia, aunque el equipo entregó un poco más de lo que debería haber entregado, estos valores nunca superaron el 5% sobre o bajo el valor esperado.

En general, el sistema aunque es un prototipo, es bastante confiable, y con una alta potencialidad para ser utilizado en un equipo que se pretenda hacer aplicaciones con dosis variable.

Este sistema tendría el inconveniente de tener elementos mecánicos en contacto con el agroquímico a aplicar (electro válvulas) pero tiene la ventaja de tener una amplia gama de caudales, de fácil calibración y al utilizar electro válvulas pueden ser comandadas por un procesador el cuál puede variar la dosis según las necesidades que se deseen controlar o suplir durante una aplicación.

CONCLUSIONES

Se logro diseñar un dosificador de agroquímicos líquidos y construir un prototipo, el cuál utiliza energía neumática como impulsor el cual permite múltiples formas de regulación de caudal

El sistema hidroneumático de dosificación permite una dosificación con un caudal constante.

El Sistema de dosificación se puede montar a pulverizadoras desde su fabricación o a pulverizadoras ya en uso, incluso se puede

montar a turbo nebulizadoras y ser utilizadas para aplicar herbicidas y agroquímicos al huerto frutal sin temor a dañarlo.

Es factible utilizar un medidor de flujo de aire para medir el caudal de diferentes productos químicos sin importar sus propiedades.

Este sistema mediante el reemplazo de los elementos manuales por electrónicos permitiría realizar un trabajo dentro del concepto de agricultura de precisión.

LITERATURA CITADA

FAISANDIER, J. 1965. Los mecanismos hidráulicos, Dunod, Paris. 382 p.

GUERRA, P. 2006. Diseño y evaluación de un sistema dosificador para pulverizadores. Memoria de título para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 42 p.

HETZ, E. M., IBÁÑEZ, L. CONCHA, F. REYES y R. CELIS. 1978. Mecanización agrícola en Chile. Universidad de Concepción, Instituto de Ingeniería Agrícola, Departamento de Mecanización Agrícola. Chillán, Chile 94 p.

VÁZQUEZ, J. 2004. Aplicación de productos fitosanitarios técnicas y equipos, Ediciones Agrotécnicas, Madrid. 389 p.

VILLA, R. 2001. Técnicas y máquinas para la aplicación de pesticidas. Publicación docente No 2, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile 114 p.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

MADURACIÓN DE FRUTAS Y SU INFLUENCIA EN LA NUTRICIÓN HUMANA

Fruit ripening and its influence in human nutrition

MAURICIO GONZÁLEZ-AGÜERO^{1,*} y VERÓNICA CAMBIAZO A¹.

¹ Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile

* Actualmente en Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) - CRI La Platina.

RESUMEN

La calidad de la fruta se aprecia tanto en los parámetros organolépticos como en su aspecto. El tamaño y la forma son características que se alcanzan durante el desarrollo del fruto, mientras que otros parámetros organolépticos se modifican durante la maduración.

Análisis genéticos y moleculares del desarrollo y maduración de las frutas han permitido avances significativos en nuestro conocimiento de la bioquímica de estos procesos, especialmente de la biosíntesis y señalización del etileno, el metabolismo de la pared celular y en menor grado, las señales ambientales que afectan la maduración. El conocimiento de la regulación metabólica del proceso de maduración de las frutas, permitirá identificar elementos moleculares susceptibles de ser manipulados con el propósito de mejorar la calidad de la fruta, y por consiguiente, obtener mejores frutas para el consumo humano.

PALABRAS CLAVES: desarrollo, maduración, etileno y expresión génica.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades atractivas de las frutas no se reducen sólo a su aroma sabor y textura, sino también a la presencia de nutrientes esenciales como minerales, vitaminas y

compuestos antioxidantes (fitonutrientes como flavonoides, carotenoides, y otros). Estos compuestos son sintetizados y utilizados por la planta para protegerse de la oxidación, especialmente en aquellos órganos o tejidos expuestos a las radiaciones luminosas (Brownleader, *et al.*, 1999). Las propiedades antioxidantes de la fruta, sumadas a los altos niveles de fibra dietaria, han sido reconocidas en el campo médico por su positiva influencia protectora frente a enfermedades coronarias (Keli, *et al.*, 1996) y a diversos tipos de cáncer (Giovannucci, 1999; Cohen, 2002; Clinton, *et al.*, 1996).

Múltiples estudios epidemiológicos (Keli, *et al.*, 1996; Murakami, *et al.*, 1998; Levy, *et al.*, 1995) han sugerido la existencia de una relación directa entre el consumo de fitonutrientes desde diversas fuentes, tales como cebollas (*Allium cepa*), manzanas (*Malus x domestica*) y té (*Thea sinensis*) y la protección contra enfermedades. Se sugiere que un incremento sistemático en la ingesta de ciertos antioxidantes disminuiría entre un 30 y 40 % las muertes provocadas por enfermedades coronarias (Keli, *et al.*, 1996). Excelentes candidatos para el cumplimiento de ese objetivo son las frutas, ya sea por el aumento del consumo o el incremento del contenido de antioxidantes mediante transgénesis. Ejemplo de esto último es el desarrollo de tomates transgénicos que producen una alta cantidad de flavonoides

mediante la expresión de los factores de transcripción LC y C1 de maíz (*Zea mays*). La expresión de ambos genes es necesaria y suficiente para sobre-expresar genes que participan en la ruta de síntesis de flavonoides (Bovy, *et al.*, 2002).

Los niveles de fitonutrientes en frutas se alteran durante los procesos de desarrollo y maduración. Un claro ejemplo de este fenómeno es el incremento sustancial en la síntesis de antocianinas que ocurre durante la maduración del fruto del ciruelo africano (*Dacryodes edulis*) y que es concomitante con el cambio de color que experimenta el fruto (Missang, *et al.*, 2003). En los últimos años, el proceso de maduración de las frutas ha recibido una atención considerable debido principalmente a su importancia económica en la producción y manejo de post-cosecha y a su importancia como elemento esencial de la dieta y nutrición humana (Giovannoni, 2001). Estudios en el desarrollo de frutas, y especialmente en la maduración de frutos carnosos, han dado lugar a avances significativos en la identificación y caracterización de los componentes y vías de señalización asociados con la biosíntesis y respuesta del etileno (Lincoln y Fisher, 1988; Lanahan, *et al.*, 1994; Wilkinson, *et al.*, 1995) y con el metabolismo de la pared celular (Smith, *et al.*, 1988; Crookes y Grierson, 1983; Hatfield y Nevins, 1986), mientras que el conocimiento acerca de las señales ambientales que afectan la maduración es aún parcial (Giovannoni, 2001).

MADURACIÓN Y DESARROLLO

El proceso de maduración de los frutos ha sido definido como el conjunto de cambios fisiológicos que se producen entre los últimos estados de crecimiento y los primeros de senescencia (Watada, *et al.*, 1984). El desarrollo del fruto ocurre luego de la fertilización, y simultáneamente con la maduración de la semilla. Las frutas pueden ser clasificadas de acuerdo con su modalidad de maduración, en tres grupos de

especies:

i) Especies como la uva (*Vitis sp.*), en las que ocurre un único evento de maduración y, por lo tanto la madurez de consumo (del inglés *ripeness*) -definida como el estado de desarrollo de la fruta que permite consumirla con agrado- se alcanza al momento de la cosecha, es decir coincide temporalmente con la madurez fisiológica (*maturity*) (Gil, 2001).

ii) Especies como la palta (*Persea americana*), que alcanza primero la madurez fisiológica en el árbol, definida como el estado del desarrollo en que la semilla alcanza una capacidad reproductiva, y luego de la cosecha logra la madurez de consumo (Gil, 2001).

iii) El tercer grupo lo conforman frutas como el durazno y el nectarin (*Prunus persica*), que si bien pueden sufrir tanto la madurez fisiológica como la de consumo en el árbol, estos eventos normalmente ocurren de manera separada, debido esencialmente a propósitos comerciales (Gil, 2001).

Especies modelos en el desarrollo y maduración de frutas

En el estudio del desarrollo en plantas con frutas dehiscentes secas se han logrado importantes avances gracias a la utilización de *Arabidopsis thaliana*, que ha llegado a ser uno de los más importantes modelos para el estudio de muchos aspectos de la biología de las plantas y cuyo genoma se encuentra totalmente secuenciado (The *Arabidopsis* Genome Initiative. 2000). En el caso de plantas con frutos carnosos, el mayor foco de atención ha estado en la disección de las cascadas bioquímicas y genéticas que controlan la maduración del tomate (*Lycopersicon esculentum*) un modelo para frutas climatéricas (White, 2002), mientras que en el caso de las frutas no climatéricas el modelo mejor estudiado es la fresa (*Fragaria ananassa*) (Aharoni y O'Connell, 2002).

El tomate ha demostrado ser un excelente

sistema para el análisis de la maduración y el desarrollo de la fruta carnosa, en parte debido a la disponibilidad de mutantes de maduración bien caracterizados, y a un conjunto de consideraciones prácticas como su fácil manejo en el laboratorio, su genoma relativamente pequeño (Alexander y Grierson, 2002) y el hecho de ser una de las primeras plantas modificadas genéticamente utilizando técnicas de DNA recombinante (Smith, *et al.*, 1988). Se han descrito plantas con mutaciones no alélicas *ripening-inhibitor (rin)* y *non-ripening (nor)*, que producen tomates que no maduran. La fruta resultante de ambas mutantes presenta una baja en la tasa de respiración y un déficit asociado con la biosíntesis del etileno. La aplicación de etileno exógeno a estos mutantes no restablece el proceso de maduración, aunque la expresión de algunos genes de maduración regulados por esta hormona incrementa levemente sugiriendo que los genes *nor* y *rin* participarían en la señalización independiente de etileno en tomate (Moore, *et al.*, 2002). La reciente identificación de esos genes *nor* y *rin*, que codifican para una proteína de la familia de las MADS-box y para un factor de transcripción respectivamente y el descubrimiento de un gen homólogo de *rin* expresado en fresa (fruta no climatérica), sugieren que las cascadas regulatorias de la vía de señalización independiente de etileno en la maduración de frutas, tanto climatéricas como no climatéricas, serían ampliamente conservadas (White, 2002). Los perfiles transcripcionales durante ese proceso en ambos tipos de frutas carnosas han sustentado esas observaciones y también han permitido identificar nuevos genes involucrados en la bioquímica de la maduración (Aharoni y O'Connell, 2002; Moore, *et al.*, 2002).

MADURACIÓN DE FRUTOS

El fenotipo maduro es el producto de la sumatoria de cambios bioquímicos y fisio-

lógicos que ocurren al finalizar la etapa de desarrollo del fruto y que lo transforman en un órgano comestible y deseable para los animales que dispersarán las semillas (Giovannoni, 2001). Tradicionalmente, los procesos de maduración frutal han permitido diferenciar las frutas en climatéricas y no climatéricas de acuerdo con sus tasas de respiración y biosíntesis de etileno. Las frutas climatéricas (tomate, palta, manzana, y plátano) a diferencia de las frutas no climatéricas generan una producción auto catalítica de esta hormona, que provoca a su vez un aumento respiratorio al comienzo de la maduración, que induce la expresión de un gran número de genes (Lincoln y Fisher, 1988; Brady, 1987). A la fecha se ha identificado el receptor de etileno tanto en tomate como en *Arabidopsis* y sus homólogos en otras especies y un número importante de componentes implicados en los mecanismos de transducción de señales mediados por esta hormona. El etileno ejerce su acción a través de una compleja regulación en su biosíntesis, percepción y transducción de señales produciendo cambios dramáticos en las frutas mediante la regulación en la expresión de múltiples genes (Wang y Ecker, 2002; Barry, *et al.*, 2000).

El etileno es esencial para el desarrollo, crecimiento y supervivencia de la planta. Es responsable de cambios en: semillas durante la germinación, el desarrollo de la flor y de la fruta, el inicio de ciertos mecanismos de defensa, y múltiples interacciones con otras hormonas (Abeles, *et al.*, 1992). Es también responsable de ciertas alteraciones: tiene la capacidad de producir síntomas exagerados de una enfermedad y/o exacerbar una respuesta ante una determinada presión ambiental. No es claro si esta reacción responde a un propósito útil o es un funcionamiento anómalo en el mecanismo de defensa de la planta, sin embargo, a excepción de la maduración de las frutas, generalmente altos niveles del etileno son nocivos para el crecimiento y la

vida de la planta (Stearns y Glick, 2003). Durante este proceso de maduración las frutas de muchas especies climatéricas y no climatéricas experimentan modificaciones en la ultra estructura de la pared celular que alteran la textura de la fruta (Hatfield y Nevins, 1986), cambios en el equilibrio ácido/dulce que otorgan el sabor (Knapp, 2002), alteraciones en la biosíntesis y acumulación de pigmentos produciéndose cambios en el color (Crookes y Grierson, 1983) y un aumento en los niveles de compuestos odorantes (Visai y Vanoli, 1997).

Pérdida de firmeza

La textura es un importante atributo de las frutas y vegetales comestibles que depende de las propiedades físicas y químicas de sus paredes. Las propiedades de la pared celular afectan la manera en que los tejidos vegetales sufren ante las presiones mecánicas durante la masticación (Waldron *et al.*, 1997).

La maduración en frutas generalmente va acompañada de la hidrólisis de los polisacáridos pécticos de la lámina media. El masivo desensamblaje de las pectinas de la pared está asociado con las etapas posteriores de la maduración y el deterioro de la fruta en las etapas de sobre maduración (Huber y O'Donoghue, 1993). En este proceso, una parte sustancial de las pectinas de la pared es convertida a más de una forma soluble, y este cambio es importante en la pérdida de firmeza de los frutos (Lurie *et al.*, 1994). Varias enzimas que degradan polisacáridos de la pared están implicadas en el proceso de maduración, incluyendo poligalacturonasas (Themmen *et al.*, 1982), pectin-metil-esterasas, y β -galactosidasas (Hinton y Pressey, 1980). Sin embargo, y pese a que estas enzimas están identificadas, aún existe un conocimiento parcial de los cambios en las propiedades mecánicas que ocurren durante el proceso de maduración (Jackman y Stanley 1995). Los tomates, como pocas frutas, son consumidos

principalmente en su forma procesada, para ello son almacenados como concentrados y luego diluidos para alcanzar la consistencia deseada en su forma final. Las propiedades de la textura de estas frutas contribuyen en gran medida a la calidad de esos productos elaborados. Aquellos que se obtienen a partir de frutas que presenten alteraciones en la textura pueden adquirir propiedades no deseadas, como cambios en la consistencia y viscosidad, en las etapas finales del proceso productivo (Barret *et al.*, 1998; Kalamaki *et al.*, 2003).

El sabor

¿Qué elementos otorgan ese sabor dulce pero con un leve toque de acidez característico de la fresa? La respuesta a esta interrogante se encuentra en el equilibrio sutil que se genera entre los niveles de ácidos y azúcares presentes en el fruto. En general, un mejor sabor en la fruta involucra un alto grado de azúcares (mayor proporción de fructosa y/o sacarosa que de glucosa), un porcentaje moderado a alto de ácidos (mayor proporción de ácidos málicos que cítricos o quínicos), y una baja concentración de compuestos fenólicos (menos de 200 mg/100g) (Jaakola *et al.*, 2002). Dependiendo de la fruta, las proporciones de azúcares pueden ser muy diferentes y varían de acuerdo con la etapa de maduración. Ciertas frutas, como manzanas y plátanos, acumulan almidón durante las primeras etapas del desarrollo. La posterior acumulación de monosacáridos, debido a la disociación del almidón en glucosa, ocurre incluso cuando las frutas se encuentran en las etapas iniciales de la maduración de cosecha (Jaakola *et al.*, 2002). Por otra parte, fresas y tomates no acumulan almidón durante su desarrollo y su sabor dulce se debe a la ruptura de la sacarosa, disacárido que se ha acumulado durante la primera parte del desarrollo de la fruta. Esas frutas deben por lo tanto, ser escogidas maduras para tener un sabor aceptable entre los

consumidores.

La astringencia de la fruta se atribuye a compuestos de tipo polifenoles (taninos y taninos condensados). La disminución de la astringencia durante la maduración ocurre debido a la formación de complejos entre estos compuestos y otros del tipo pectina (Jaakola *et al.*, 2002). La calidad organoléptica de la fruta es una característica compleja que involucra todos los aspectos de la percepción de los sabores y aromas de muchos constituyentes.

Liberación de aromas

El perfil aromático de la fruta es complejo ya que son cientos los compuestos que contribuyen al aroma de una sola fruta. Se ha calculado que el aroma de las fresas es responsabilidad de unos 200 compuestos distintos y el de los tomates corre por cuenta de cerca de 400 (Klesk y Qian, 2003). Los compuestos volátiles que participan en la percepción aromática son de naturaleza muy diversa pudiéndose distinguir: alcoholes, aldehídos, ésteres, cetonas y terpenos. La síntesis de estos compuestos es modulada por factores externos, tales como temperatura y oxigenación. La multiplicidad de estos parámetros explica la dificultad que existe en la identificación de las sustancias aromáticas más características de un producto, puesto que cada uno de ellos contribuye de una manera sutil al aroma típico de una determinada fruta (Klesk y Qian, 2003).

El aroma es uno de los factores esenciales para evaluar la calidad de algunas frutas como duraznos y nectarines. En estas frutas los compuestos volátiles han sido extensamente estudiados, identificándose hasta la fecha cerca de 100 elementos (Lim y Romani, 1964), entre ellos lactonas, particularmente α y β decalactona, en asociación con otros volátiles como c_6 aldehídos, alcoholes alifáticos y terpenos. La formación de los compuestos aromáticos en las frutas es un proceso dinámico durante el cual las

concentraciones de éstos sufren cambios de modo cuali y cuantitativo (Visai and Vanoli, 1997). En duraznos y nectarines, esos cambios dependen esencialmente del grado de maduración que ha alcanzado el fruto (Engel *et al.*, 1988) y del tipo de variedades que produzcan una mayor cantidad de ésteres y terpenoides (principalmente linalol y terpinoleno) las cuales tendrán un aroma más floral y frutoso (Visai y Vanoli, 1997).

Cambios de color

Cuando una fruta se encuentra al inicio del desarrollo, la clorofila (pigmento fotosintético abundante en los cloroplastos) le otorga su característico color verde. Bajo el efecto de la enzima clorofilasa, la clorofila se hidroliza para dar origen a otros pigmentos polifenólicos como flavonoides y carotenoides que están presentes en las frutas. En el tomate, los cambios de color durante la maduración se deben a una masiva acumulación de carotenoides en los plastidios y a la desaparición de la clorofila (Fraser *et al.*, 1994). Existen seis tipos de flavonoides siendo los más comunes en frutas las antocianinas y los flavonoles. Las antocianinas dan distinto color a las frutas dependiendo del pH, así, cerca de 3,5 el color es rojo. El contenido de antocianinas aumenta en frutos maduros (Peterson y Dwyer, 1998), este es el caso del pelargonidol (pelargonidin glucósido) que da a las fresas y a otras frutas su color rojo (Fraser *et al.*, 1994).

Los carotenoides pertenecen a un grupo diverso de compuestos antioxidantes lipofílicos sintetizados a partir del isopentenil difosfato en los plastidios y que se encuentran abundantemente en frutas y verduras. Las frutas verdes contienen carotenoides pero en menor cantidad que las frutas amarillas, anaranjadas y rojas, que se caracterizan por presentar concentraciones más altas, acumuladas durante el proceso de maduración. El β -caroteno, por ejem-

plo, da el color anaranjado a los damascos (Fraser *et al.*, 1994).

A menudo los carotenoides y flavonoides interaccionan formando complejos que permiten obtener una amplia gama de colores que van desde el amarillo al azul. Estos pigmentos además de contribuir al aspecto y al atractivo de la fruta, también proporcionan un valor nutricional adicional en forma de antioxidantes dietarios. Los flavonoides así como los carotenoides no son sintetizados por los seres humanos, y debido a sus actividades antioxidantes y antimutagénicas, reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Keli, *et al.*, 1996).

APROXIMACIONES DESDE LA GENÓMICA FUNCIONAL AL ANÁLISIS DEL PROCESO DE MADURACIÓN.

En relación con el proceso de maduración y su regulación, cabe preguntarnos ¿de que manera los distintos elementos que participan en las rutas metabólicas y en los procesos relacionados con esta etapa del desarrollo actúan en forma coordinada?. Debido a que los cambios que ocurren durante el proceso de maduración son multifactoriales, la identificación de aspectos claves que relacionen a los atributos de calidad específicos para de las frutas se torna un proceso de difícil abordaje. De este modo, la posibilidad de un análisis global del problema surge como una oportunidad muy atractiva que seguramente generará un gran impacto sobre la comprensión de los eventos y los elementos relacionados con la maduración en frutas.

Un número considerable de metodologías permiten realizar estos análisis globales valiéndose de la forma como la expresión diferencial de la información contenida en el genoma se expresa en los diferentes estados funcionales de una célula o de un grupo de ellas. Entre estas metodologías se encuentra la de hibridación en *arrays* (*micro* y *macroarrays*), técnica que permite medir

cambios cualitativos y cuantitativos en la abundancia de transcritos como resultado de la expresión diferencial de genes y/o de la estabilidad diferencial de sus correspondientes RNAs mensajeros (RNAm) (Van Hal *et al.*, 2000). Utilizando la hibridación en *arrays* es posible evaluar en forma simultánea los cambios de abundancia relativa de múltiples transcritos provenientes de dos poblaciones de mRNA en un sólo experimento y de esta manera, construir un perfil de expresión génica que caracteriza el funcionamiento dinámico de cada gen en un genoma (Eisen y Brown, 1999).

En esta metodología, las secuencias blancas son inmovilizadas en una matriz sólida (membrana de nylon), e hibridadas con cDNAs marcados (sondas) (Freeman *et al.*, 2000). El nivel de expresión de un gen se refleja en el número de copias de su mRNA por tanto, es proporcional al nivel de señal detectado. Una de las ventajas significativas de esta técnica es que, debido a la miniaturización del sistema, la alta concentración del material permite la identificación de muestras presentes en un bajo número de copias dándole un mayor grado de sensibilidad (1/300.000 copias) (Bertucci *et al.*, 1999).

En los últimos años, la hibridación en *arrays* de cDNA se ha convertido en una tecnología eficaz para el análisis de diversos problemas biológicos que conllevan cambios coordinados en la expresión de numerosos genes originándose un gran número de resultados experimentales que han permitido validar esta metodología (Aharoni y O'Connell, 2002; Seki *et al.*, 2001; Trainotti *et al.*, 2003). Sin embargo, a pesar de la amplia aceptación en el uso de esta tecnología, su aplicación al análisis de procesos fisiológicos en plantas es aún incipiente. Ejemplos de estos estudios son: la identificación de genes que favorecen la adaptación del arroz en condiciones de alta salinidad (Kawasaki *et al.*, 2001), la identificación de genes involucrados en vías metabólicas que regulan la respuesta al

exceso y al déficit de nitratos en *Arabidopsis* (Wang *et al.*, 2000) y la identificación de genes mediante análisis de cambios en los perfiles de expresión durante el desarrollo y alargamiento de la fibra en el algodón sometida a condiciones de bajo potencial de agua en el suelo (Arpat y Wilkins, 2003).

PERSPECTIVAS PARA LA SALUD HUMANA

El proceso de maduración confiere a las frutas numerosas cualidades y características nutricionales que las hacen un componente esencial de la dieta humana. Según un informe sobre dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas de la FAO/OMS, se estima que el consumo diario de fruta y hortalizas no debería ser inferior a 400 gramos. Solamente una pequeña fracción de la población mundial consume esa cantidad recomendada de frutas y verduras. En 1998, solo seis de las 14 regiones del OMS tenían una disponibilidad productiva de frutas y verduras similares o mayores a los recomendados para la ingesta diaria *per capita*. En el año 2000, el promedio anual global de la disponibilidad de frutas y verdura *per capita* era de 102 kilogramos, con el nivel más alto en Asia (116 kilogramos), y los niveles más bajos en Sudamérica (48 kilogramos) y África (52 kilogramos) (WHO/FAO, 2003).

Con un incremento promedio de 2,5 veces en la ingesta de frutas y verduras en el mundo se podría llegar a prevenir hasta un 33% del total de cánceres de pulmón, de órganos gastrointestinales y de cuello uterino. El carotenoide licopeno altamente expresado en tomate reduciría la incidencia de cáncer prostático (Giovannucci, 1999) y pulmonar (Cohen, 2002). Estudios experimentales han demostrado que el licopeno exhibe actividades antioxidantes (Willett, 1995), suprime la proliferación celular (Levy, *et al.*, 1995), e interfiere con el crecimiento de células cancerígenas (Clinton, *et al.*, 1996).

Por otra parte, el β -caroteno principal precursor en la dieta para la síntesis de vitamina A, cuya deficiencia produce xeroftalmia ceguera y muerte prematura se encuentra en abundancia en frutas (Mayne, 1996). La deficiencia en vitamina A ha sido reportada como uno de los principales problemas dietarios que afecta a niños de todo el mundo, con cerca de 1,2 millones de muertes anuales en menores de 4 años (Humphrey *et al.*, 1992).

El tomate es una buena fuente de micro nutrientes antioxidantes como el β -caroteno, luteína, fitoeno, fitoflueno, β -caroteno, vitamina C, vitamina E y compuestos fenólicos. Varios de esos constituyentes pueden contribuir a aumentar las propiedades nutritivas y anti oxidantes de los tomates (Dumas *et al.*, 2003). Cabe destacar que los polifenoles son agentes reductores, y que junto con otros agentes de este tipo presentes en la dieta, tales como vitamina C, vitamina E y carotenoides, protegen a los tejidos finos del cuerpo contra el daño oxidativo (Prior, 2003).

Los polifenoles son los antioxidantes más abundantes de nuestras dietas. En vegetales se han identificado varios miles de polifenoles aunque solo un número limitado está dentro de los niveles significativos de las dietas humanas (Manach *et al.*, 2004). Para evaluar su impacto en salud humana, es esencial conocer la naturaleza de los polifenoles principales ingeridos, su origen dietético, las cantidades consumidas en diversas dietas, su biodisponibilidad y los factores que la controlan (Scalbert y Williamson, 2000).

En contraste con los aspectos positivos ya mencionados para la nutrición humana, en las plantas la oxidación de compuestos fenólicos es responsable en gran medida del oscurecimiento de frutas durante la manipulación y el almacenamiento. Los polifenoles son también responsables de sabores y aromas no deseados durante la preparación de los jugos de fruta, del vino, y de la cerveza (Mathew, 1971).

Por las razones expuestas, existe un considerable interés comercial en desarrollar frutas que produzcan un mayor porcentaje de fitoquímicos y/o frutas que maduren en respuesta a una señal externa específica. El etileno es un buen punto de partida para ambos propósitos. El etileno es una molécula central en la señalización de muchos procesos por lo que una opción posible es manipular su concentración para crear muchos rasgos deseables en las plantas (Stearns y Glick, 2003). Un conocimiento amplio acerca de las cascadas bioquímicas y genéticas que regulan la función del etileno en la maduración de frutas climatéricas puede ayudar a establecer estrategias genéricas para manipular la maduración de cualquier fruta.

Ese desafío no es menor, pues si bien es posible obtener plantas con una menor de síntesis de etileno y por ende un mayor potencial de post cosecha, concomitante a esa inhibición también se altera por ejemplo, la producción de compuestos volátiles (esencialmente ésteres) resultando en una menor intensidad del aroma. El desafío es separar los efectos de la manipulación genética sobre la biosíntesis de etileno de aquellos sobre la síntesis de ésteres y otros fitonutrientes deseables (Mathooko *et al.*, 2001).

La capacidad de entender y con el uso de herramientas biotecnológicas, manipular las etapas dominantes del control global de la maduración o de procesos específicos que regulan la maduración como producción de carotenoides, flavonoides, vitaminas, y compuestos volátiles del sabor y el aroma, permitirá controlar con precisión las características de calidad asociadas con la maduración de la fruta. Por lo tanto, además de los programas de investigación ideados para entender y mejorar las calidades organolépticas de la fruta como un sabor y aroma agradables, deben invertirse más esfuerzos en enriquecer las frutas en aquellos compuestos que benefician a la salud humana.

Agradecimientos

- Proyecto Genómica Funcional en Nectarines: Plataforma para potenciar la competitividad de Chile en exportación de fruta.
- Beca Dr. Abraham Stekel, Nestle Chile-INTA Universidad de Chile.

LITERATURA CITADA

ABELES, F.B., MORGAN, P.W. and SALTVEIT JR, M.E. 1992. Ethylene in plant biology. New York: Academic Press. 414 p

AHARONI, A. and O'CONNELL, A.P. 2002. Gene expression analysis of strawberry achene and receptacle maturation using DNA microarrays. *J. Exp. Bot.* 53 (377): 2073-2087.

ALEXANDER, L. and GRIERSON, D. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climateric fruit ripening. *J. Exp. Bot.* 53 (377): 2039-2055.

ARPAT, A.B. and WILKINS, T.A. 2003. Gene expression analysis of cotton Pilose mutant with altered fibre characteristics. Plant and Animal Genome Conference XI, 11-15 January 2003, San Diego, CA, p. 267.

BARRET, D.M., GARCIA, E. and WAYNE, J.E. 1998. Textural modification of processing tomatoes. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38: 173-258.

BARRY, C.S., LLOP-TOUS, M.I. and GRIERSON, D. 2000. The regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expression during the transition from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. *Plant Physiol.* 123: 979-986.

BERTUCCI, F., BERNARD, K., LORIOD, B., CHANG, Y., GRANJEAUD, S., BIRNBAUM, D., NGUYEN, C., PECK, K. and JORDAN, B. 1999. Sensitivity issues in

- DNA array-based expression measurements and performance of nylon microarrays for small samples. *Hum. Mol. Genet.* 8: 1715-1722.
- BOVY, A., DE VOS, R., KEMPER, M., SCHIJLEN, E., ALMENAR-PERTEJO, M., MUIR, S., COLLINS, G., ROBINSON, S., VERHOEYEN, M., HUGHES, S., SANTOS-BUELGA, C. and VAN TUNEN, A. 2002. High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes LC and C1. *Plant Cell* 14 (10): 2509-2526.
- BRADY, C.J. 1987. Fruit Ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38: 155-178.
- BROWNLEADER, M.D., JACKSON, P., MOBASHERI, A., PANTELIDES, A.T., SUMAR, S., TREVAN, M. and DEY, P.M. 1999. Molecular aspects of cell wall modifications during fruit ripening. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 39 (2):149-64.
- CLINTON, S.K., EMENHISER, C., SCHWARTZ, S.J., BOSTWICK, D.G., WILLIAMS, A.W., MOORE, B.J. and ERDMAN, J.W. 1996. Cis-trans lycopene isomers, carotenoids, and retinol in the human prostate. *Cancer Epidemiol. Biomarkers. Prev.* 5: 823-833.
- COHEN, L.A. 2002. A review of animal model studies of tomato carotenoids, lycopene, and cancer chemoprevention. *Exp. Biol. Med.* (Maywood). 227 (10): 864-8.
- CROOKES, P.R. and GRIERSON, D. Ultrastructure of Tomato Fruit Ripening and the Role of Polygalacturonase Isoenzymes in Cell Wall Degradation. 1983. *Plant Physiol.* 72: 1088-1093.
- DUMAS, Y., DADOMO, M., DI LUCCA, G. and GROLIER, P. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83: 369-382.
- EISEN, M.B. and BROWN, P.O. 1999. DNA arrays for analysis of gene expression. *Methods Enzymol.* 303: 179-205.
- ENGEL, K. H., RAMMING, D. W., FLATH, R. A. and TERANASHI, R. Investigation of volatile constituents in nectarines. 1988. Changes in aroma composition during nectarine maturation. *J. Agric. Food Chem.* 36: 1003-1006.
- FRASER, P.D., TRUESDALE, M.R., BIRD, C.R., SCHUCH, W. and BRAMLEY, P.M. 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: evidence for tissue-specific gene expression. *Plant. Physiol.* 105: 405-413.
- FREEMAN, W.M., ROBERTSON, D. J. and VRANA, K.E. 2000. Fundamentals of DNA hybridization arrays for gene expression analysis. *BioTechniques.* 29: 1042-1055.
- GIL, G. 2001. *Fruticultura: Madurez y Manejo Poscosecha*. Vol. III. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago. 348 p.
- GIOVANNUCCI, E. 1999. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiological literature. *J. of the Nat. Cancer Inst.* 91: 317-331.
- GIOVANNONI, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annu. Rev. of Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 52: 725-749.
- HATFIELD, R. and NEVINS, D.J. 1986. Characterization of the Hydrolytic Activity of AVOCADO CELLULASE. *PLANT CELL PHYSIOL.* 27: 541-552.
- HUBER, D. J. and O'DONOGHUE, E. M. 1993. Polyuronides in avocado (*Persea americana*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits exhibit markedly diffe-

rent patterns of molecular weight downshifts during ripening. *Plant Physiol.* 102: 473-480.

JAAKOLA, L. MÄÄTTÄ, K., PIRTTILÄ, A.M., TÖRRÖNEN, R., KÄRENLAMPI, S. and HOHTOLA, A. 2002. Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiol.* 130: 729-739.

JACKMAN, R.H. and STANLEY, D.W. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 187-194.

HINTON, D.M. and PRESSEY, R. 1980. Glucanases in Fruits and Vegetables. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 105: 499-502.

KALAMAKI, M.S., POWELL, A.L.T., STRUIJS, K., LABAVITCH, J.M., REID, D.S. and BENNETT, A.B. 2003. Transgenic overexpression of expansin influences particle size distribution and improves viscosity of tomato juice and paste. *J. Agric. Food. Chem.* 51: 7465-7471.

KAWASAKI, S., BORCHERT, C., DEYHOLOS, M., WANG, H., BRAZILLE, S., KAWAI, K., GALBRAITH, D. and BOHNERT, H.J. 2001. Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. *Plant Cell.* 13: 889-905.

KELI, S.O., HERTOOG, M.G., FESKENS, E.J. and KROMHOUT, D. 1996. Dietary flavonoids, antioxidant vitamins, and incidence of stroke: the Zutphen study. *Arch Intern Med.* 156 (6): 637-642.

KLESK, K. and QIAN, M. 2003. Arom extract dilution analysis of cv. Marion (*Rubus* spp. Hyb) and cv. Evergreen (*R. laciniatus* L.) blackberries. *J. Agric. Food. Chem.* 51: 3436-3441.

KNAPP, S. 2002. Tobacco to tomatoes: a phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *J. Exp. Bot.* 53: 2001-2022.

HUMPHREY, J.H., WEST JR, K.P. and SOMMER, A.V. 1992. Vitamin A deficiency and attributable mortality amongst 5-year-olds. *WHO Bulletin* 70: 225-232.

LANAHAN, M.B., YEN, H.C., GIOVANNONI, J.J. and KLEE, H.J. 1994. The Never Ripe mutation blocks ethylene perception in tomato. *The Plant Cell.* 6: 521-530.

LEVY, J., BOSIN, E., FELDMAN, B., GIAT, Y., MIINSTER, A., DANILENKO, M. and SHARONI, Y. 1995. Lycopene is more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either a- or b-carotene. *Nutr. Cancer*; 24: 257-267.

LIM, L. and ROMANI, R. 1964. Volatiles and the harvest maturity of peaches and nectarines. *J. Sci. Food.* 29: 246-253.

LINCOLN, J.E. and FISHER, R.L. 1988. Diverse Mechanisms for the Regulation of Ethylene-Inducible Gene Expression. *Mol. Gen. Genet.* 212: 71-75.

LURIE, S., LEVIN, A., GREVE, L.C. and LABAVITCH, J.M. 1994. Pectic polymer changes in nectarines during normal and abnormal ripening. *Phytochem.* 36: 11-17

MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C., REMESY, C. and JIMENEZ, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 727- 47.

MATHEW, A.G. 1971. Food browning as a polyphenol reaction. *Adv. Food Res.* 19: 75-145.

MATHOOKO, F.M., TSUNASHIMA, Y., OWINO, W.Z., KUBO, Y. and INABA, A. 2001. Regulation of genes encoding

- ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. *Postharv. Biol. Technol.* 21: 265-281
- MAYNE, S.T. 1996. β -Carotene, carotenoids and disease prevention in humans. *FASEB Journal*. 10: 690-701.
- MISSANG, C.E., GUYOT, S. and RENARD, C.M.G.C. 2003. Flavonols and Anthocyanins of Bush Butter, *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam, Fruit. Changes in Their Composition during Ripening. *J. Agric. Food Chem.* 51: 7475-7480.
- MOORE, S., VREBALOV, J., PAYTON, P. and GIOVANNONI, J. 2002. Use of genomics tools to isolate key ripening genes and analyse fruit maturation in tomato. *J. Exp. Bot.* 53 (377): 2023-2030.
- MURAKAMI, A., KOSHIMIZU, K. and OHIGASHI, H. 1998. Chemoprevention with food phytochemicals: screening, rodent studies, and action mechanisms. *J. Med. Food.* 1: 29-38.
- PETERSON, J. and DWYER, J. 1998. Flavonoids: Dietary occurrence and biochemical activity. *Nutr. Res.* 18 (12): 1995-2018.
- PRIOR, R.L. 2003. Fruits and vegetables in the prevention of cellular oxidative damage. *Am. J. Clin. Nutr.* 78: 570s-578s.
- SCALBERT, A. and WILLIAMSON, G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr.* 130: 2073s-2085s.
- Seki, M., Narusaka, M. and Abe, H. 2001. Monitoring the expression pattern of 1300 Arabidopsis genes under drought and cold stresses by using full-length cDNA microarray. *Plant Cell* 13: 61-72.
- SMITH, C.J.S., WATSON, C.F., RAY, J., BIRD, C.R., MORRIS, P.C., SCHUCH, W. and GRIERSON, D. 1988. Antisense RNA inhibition of polygalacturonase gene expression in transgenic tomatoes. *Nature* 334: 724-726.
- STEARNS, J.C. and GLICK, B.R. 2003. Transgenic plants with altered ethylene biosynthesis or perception. *Biotechnol. Adv.* 21: 193-210.
- THE ARABIDOPSIS GENOME INITIATIVE. 2000. Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature* 408: 796-815.
- THEMMEN, A.P.M., TUCKER, G.A. and GRIERSON, D. 1982. Degradation of Isolated Tomato Cell Walls by Purified Polygalacturonase in vitro. *Plant Physiol.* 69: 122-124.
- TRAINOTTI, L., ZANIN, D. and CASADORO, G. 2003. A cell wall-oriented genomic approach reveals a new and unexpected complexity of the softening in peaches. *J. Exp. Bot.* 54: 1821-1832.
- VAN HAL, N.L., VORST, O., VAN HOUWELINGEN, A.M., KOK, E.J., PEIJNENBURG, A., AHARONI, A., VAN TUNEN, A.J. and KEIJER, J. 2000. The application of DNA microarrays in gene expression analysis. *J. Biotechnol.* 78(3): 271-280.
- VISAI, C. and VANOLI, M. 1997. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines. *Sci. Hortic.* 70: 15-24.
- WANG, K.L.C., LI, H. and ECKER, J.R. 2002. Ethylene biosynthesis and signaling networks. *Plant Cell* S131-S151.
- WANG, R., GUEGLER, K., LABRIE, S.T. and CRAWFORD, N.M. 2000. Genomic analysis of a nutrient response in Arabidopsis reveals diverse expression patterns and novel metabolic and potential regula-

tory genes induced by nitrate. *Plant Cell* 12: 1491-1510.

WATADA, A.E., HERNER, R.C., KADER, A.A., ROMANI, R.J. and STABY, G.L. 1984. Terminology for the Description of Developmental Stages of Horticultural Crops. *Hort. Science* 19: 20-21.

WALDRON, K.W., SMITH, A.C., PARR, A.J., NG, A., and PARKER, M.L. 1997. New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture. *Trends Food Sci. Technol.* 8: 213-221.

WHITE, P.J. 2002. Recent advances in fruit

development and ripening: an overview. *J. Exp. Bot.* 53 (377): 1995-2002.

WILLETT, W.C. 1995. Diet, nutrition and avoidable cancer. *Environ. Health Perspect* 103:165-170.

WHO/FAO. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: expert consultation. Geneva. WHO Technical Report Series, 916.

WILKINSON, J., LANAHAN, M., YEN, H., GIOVANNONI, J.J. and KLEE, H.J. 1995. An ethylene-inducible component of signal transduction encoded by Never-ripe. *Science* 270: 1807-1809.