

SIMIENTE

VOLUMEN 74 (1-2) ENERO – JUNIO 2004



SOCIEDAD AGRONOMICA DE CHILE

SIMIEN

Órgano Oficial de Difusión de la Sociedad Agronómica de Chile
Fundada el 1 de Octubre de 1942.

SIMIEN se publica trimestralmente por la Sociedad Agronómica de Chile (SACH). Los trabajos para publicación deben enviarse al Editor a:

Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago - Chile.

Casilla 4109, Santiago, Chile.

Fono-Fax: (56-2) 6384881.

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: \$ 9.000. Número individual: \$ 3.500.

Suscripción anual para estudiantes de agronomía: \$ 7.500.

Número individual: \$ 2.500.

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

Número individual: US\$ 15.

Referencia bibliográfica SIMIEN

Se autoriza la reproducción total o parcial que aparece en SIMIEN, siempre que se cite debidamente la fuente y los autores correspondientes.

La SACH no se responsabiliza por las declaraciones y opiniones publicadas en SIMIEN; 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, Of. 36, Santiago, Chile
E-mail: sociedadagronomica@entelchile.net

Diseño, Diagramación e Impresión:
Arancibia Hnos. y Cía. Ltda.
E-mail: arancibiahnos@entelchile.net

Consejo Directivo 2002-2003

Presidente: Horst Berger S., Ing. Agr.
Vicepresidente: Edmundo Acevedo H., Ing. PhD.
Tesorero: Alfredo Olivares E., Ing. Agr.Mg.S.
Secretaria: María Luisa Tapia F., Ing. Agr.

Consejeros

Silvia Gálvez A., Ing. Agr.
Rina Acuña P., Ing. Agr.
Elena Dagnino D., Ing. Agr.
Ximena López C., Ing. Agr.
Ricardo Marchant S., Ing. Agr.
Claudio Wernli K., Ing. Agr. Ph.D.
Rafael Novoa S.A., Ing. Agr. Ph.D.

Consejeros Honorarios

Mario Astorga C., Ing. Agr.
Gustavo Saravia I., Ing. Agr.

SIMIEN

Representación Legal

Horst Berger S., Ing. Agr.

Presidente SACH

Editor Honorario

Gustavo Saravia I., Ing. Agr.

Directora

Elena Dagnino D., Ing. Agr.

Subdirectora

Ljubica Galletti G., Ing. Agr.

Editor

Rafael Novoa S-A.

Ing. Agr. M.S.PhD

Editores Asociados

Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo

Edmundo Acevedo

Ing. Agr. PhD

Postcosecha y Agroindustria

Horst Berger S.

Ing. Agr.

Economía Agraria y Desarrollo Rural

Rolando Chateaufeuf D.

Ing. Agr.

Entomología y Nematología

Roberto González R.

Ing. Agr. M.S. PhD

Control de Malezas

Marcelo Kogan A.

Ing. Agr. M.S. PhD

Fitopatología

Bernardo Latorre G.

Ing. Agr. M.S. PhD

Fitomejoramiento y Cultivos

René Cortázar S.

Ing. Agr. M.S. PhD

Hortalizas y Ornamentales

Aage Krarup H.

Ing. Agr. M.S.PhD

Fruticultura

Jorge Valenzuela B.

Ing. Agr. PhD

Producción Animal y Praderas

Claudio Wernli K.

Ing. Agr. PhD

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.

Se recibirán trabajos para publicar en las siguientes secciones:

Trabajos de Investigación, los cuales deben incluir los siguientes capítulos:

- I. *Resumen*, que debe contener un 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, 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 en que cada caso resulte adecuado 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.

Punto de Vista. Comprende artículos cortos de material de actualidad, revisiones de libros de reciente publicación, asistencia a Congresos, reuniones científicas e índice de Revistas. Debe incluir Literatura citada.

Además, **SIMIENTE** publicará los trabajos que se presenten en los Simposios y 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. Los Resúmenes deben contener una condensación informativa de los métodos, resultados y conclusiones principales, señalando cuando corresponda, la fuente de financiamiento.

NORMAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TRABAJOS

Los trabajos propuestos para publicación deben enviarse con cuatro copias, escritas a espacio y medio, en papel tamaño carta al Editor de la revista **SIMIENTE**, a Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago, Chile y en forma electrónica (CD, correo electrónico o diskette).

Una vez aceptado el trabajo, el (los) autor (es) deberán incorporar las sugerencias de los revisores y remitir una copia del trabajo final impresa, además, una versión digital en CD o diskette, con el procesador de texto 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.

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 agradecimientos 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 primero, segundo, tercer o cuarto orden deben ser fácilmente distinguibles y no numerados.

Tablas. Deben escribirse a un espacio. El título de cada tabla, **en español e inglés**, debe indicar su contenido de tal forma que no se requiere explicaciones adicionales en el texto. Los encabezamientos de filas y columnas, deben ser autoexplicativos. Use superíndices numéricos para identificar los pies de páginas 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 "prints" claros, 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 cursiva 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.

ÍNDICE

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DE AZÚCARES Y OTROS PARÁMETROS QUÍMICOS EN HIGOS Y BREVAS	1
NUEVOS DESARROLLOS AGRONÓMICOS PARA INCREMENTAR EL USO EFICIENTE DEL AGUA	7
<i>LESQUERELLA FENDLERI</i> (GRAY) WATS: EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS EN FUNCIÓN DE DOS FECHAS DE SIEMBRA Y DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA	26
EFECTO SOBRE LA ALTURA, DIÁMETRO, FORMA Y FLORACIÓN DE PLANTAS DE ENCINO (<i>QUERCUS ROBUR</i>) Y LENGUA (<i>NOTHOFAGUS PUMILIO</i>) PRODUCIDAS A TRAVÉS DEL MÉTODO DE PRODUCCIÓN DE RAÍCES (RPM®)	34
EFECTO DEL AZUFRE Y DEL NITROGENO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL TRIGO	43
EFECTO DEL TIPO DE EMBALAJE SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE FRUTOS DE NÍSPERO (<i>ERIOBOTRYA JAPONICA</i> LINDL), CV. GOLDEN NUGGET EN ALMACENAJE REFRIGERADO	51
NOTAS TÉCNICAS	
EL PROGRAMA DE MOSCA DE LA FRUTA EN CHILE, UN ESFUERZO DE 40 AÑOS PARA MANTENER EXCLUIDA ESTA PLAGA DEL PAÍS	61

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

**DETERMINACIÓN DE AZÚCARES Y OTROS
PARÁMETROS QUÍMICOS EN HIGOS Y BREVAS**

**Carbohydrates and others chemical parameters characterization
in black and green figs**

CARLOS SILVA P., FUSA SUDZUKI H. Y ALFONSO NARVÁEZ H.

CEPOC, Facultad de Ciencias Agronómicas. U. de Chile
Casilla 1004. Santiago, Chile

RESUMEN

Se caracterizó los frutos de higos y brevas de las variedades negras y verdes pertenecientes al grupo común en tres estados de madurez considerando los azúcares y otros parámetros químicos. A modo de conclusión se pudo establecer que: En todos los estados de madurez e independiente de ser fruto verde o negro se determinaron los mismos azúcares. Los azúcares identificados fueron: glucosa, fructosa, α -manosa y sacarosa, siendo la fructosa el azúcar predominante en casi todos los estados de madurez.

Respecto a los otros parámetros químicos: humedad, sólidos solubles y cenizas, sus concentraciones variaron, dependiendo del estado de madurez del fruto.

PALABRAS CLAVE: Frutos de la higuera, Azúcares.

SUMMARY

Sugars and other chemical parameters in 3 stages of ripening were characterized in green and black figs belonging to the common group. The same sugars were determined in all maturity stages, without considering green or black fruits. Glucose, fructose, α -mannose and sucrose were the identified sugars, being fructose the main carbohydrate in almost all the maturity stages.

The other chemical parameters such as humidity, soluble solids and ash varied depending on the ripening stage of the fruit.

KEY WORDS: Fig fruit, Sugars.

INTRODUCCIÓN

En el país existe un número apreciable de higueras (*Ficus carica*) pertenecientes al tipo de "higo común", que se encuentran en huertos caseros y cuya producción se comercializa internamente. (Sudzuki, 1983).

Últimamente, sin embargo, la creciente demanda por frutas tradicionales que se observa a nivel mundial (Bustillos, V. y Sáenz, D.M., 1985), ha despertado el interés de algunos agricultores por realizar plantaciones comerciales siendo la IV Región la que concentra el mayor número de árboles (INTEC-CHILE. 1990).

Ahora bien, un factor importante de estudiar en esta especie es la calidad y cantidad de azúcares que presenta el fruto en distintos estados de madurez de manera de caracterizar la maduración con épocas precisas de cosecha, ya que existen diferencias varietales dentro de la especie (Foda y Hassan, 1963, Crane *et al.* 1970, Salem y Abdul-Nour, 1979).

De manera que se postularon los siguientes objetivos para este trabajo:

– Determinar los parámetros de humedad, sólidos solubles y cenizas en 3 estados de madurez de la fruta.

– Identificar y cuantificar los azúcares en 3 estados de madurez de la fruta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

– *Origen de las muestras:* Para este estudio se utilizaron variedades negras y verdes de higos y brevas del tipo "grupo común". La variedad verde fue recolectada en la V Región en la zona de Quillota. La variedad negra se recolectó en un predio de Villa Alegre en la VII Región.

– *Lugar de la investigación.* Se realizó en los laboratorios de análisis de alimentos del Departamento de Agroindustria y Enología y en el laboratorio de postcosecha del Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la U. de Chile.

– *La identificación y determinación de azúcares* se llevó a cabo mediante cromatografía de gas (en cromatógrafo PE-8700) en laboratorio ANALAB Ltda. de acuerdo con Kline *et al* (1970).

Métodos

Cosecha. Se realizó una cosecha en Diciembre 1995 en ambas localidades en donde se recolectaron frutos de brevas en los 3 estados de madurez. Una segunda cosecha se realizó en Abril 1996 con el fin de recolectar los frutos de higos en los mismos 3 estados de madurez.

Clasificación. Los frutos fueron clasificados de acuerdo a las siguientes características:

– *Madurez de cosecha:* En este estado el fruto no presentaba una coloración de la piel homogénea y no había alcanzado el dulzor apto.

– *Madurez de consumo:* El fruto había madurado completamente en la planta, presentando coloración de piel homogénea y dulzor apto para consumo.

– *Sobre madurez:* Los frutos estaban aparentemente secos y su recolección se hizo

en los frutos que habían caído por sí solos al suelo. Inmediatamente colectados los frutos se realizó análisis de humedad y se liofilizaron.

Análisis químicos y físicos

– *Humedad.* Se determinó por desecación en estufa al vacío a 70°C y 700 mmHg de presión negativa y en un tiempo aproximado de 8 hr. hasta peso constante (AOAC, 1984).

– *Sólidos totales.* Se calcularon por diferencia entre 100 y el porcentaje de humedad.

– *Sólidos insolubles.* Se determinaron por extracción de Soxhlet con agua destilada durante 6 hr. Al final de la extracción el residuo con papel filtro se secó a 80°C hasta peso cte. (Jacob 1942).

– *Sólidos solubles.* Se calcularon por diferencia entre sólidos totales y sólidos insolubles.

– *Cenizas.* Se calcinaron las muestras, previamente liofilizadas, a 600°C hasta obtener polvo blanco de peso constante. (AOAC, 1984).

– *Azúcares.* De acuerdo a AOAC (1980) el esquema seguido en su determinación fue el siguiente: preparación de soluciones de azúcares estándar, preparación de las muestras, formación de "derivados sililados" e inyección en cromatógrafo dentro de ciertas condiciones.

Diseño experimental y análisis estadístico

De varios árboles se tomó una muestra de 30-35 kg. De estos se clasificaron los frutos en los 3 estados de madurez y de ahí salieron alrededor de 8-10 kg/estado. Se consideraron sólo frutos sanos, se tomó en forma aleatoria 1 kg y se liofilizó. Ese producto liofilizado se molió y de ahí se tomaron 12 muestras (corresponden a 12 unidades experimentales). Para medir las posibles diferencias entre los estados de madurez de higos y brevas se realizó un análisis de varianza. Cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan al 95% de confianza.

RESULTADOS

De acuerdo a los cuadros 1 y 2, tenemos se encontró lo siguiente:

Evolución de la humedad

El mayor valor se obtuvo en higos verdes en estado de madurez de cosecha (86,81%) y el menor valor se obtuvo en higos negros en estado de sobre madurez (65,52%). En madurez de cosecha las brevas y los higos presentaron diferencias significativas entre si. En madurez de consumo el higo negro presentó diferencias significativas respecto a todas las muestras restantes.

En *sobre madurez* las muestras no presentaron diferencias significativas entre ellas, lo cual podría sugerir que tanto brevas como higos desde el punto de vista de la humedad podrían utilizarse para producir frutas deshidratadas.

En general la humedad disminuyó en todas las muestras a medida que se avanzó en el estado de madurez. Todos los resultados de humedad se encuentran dentro de lo esperado de acuerdo a la literatura (Axtmayer 1942, Flores 1990) y se puede decir que *describieron se ajustan a* un modelo lineal con pendiente negativa.

Evolución de sólidos solubles

En higos negros en *sobre madurez* se observó la mayor concentración de sólidos solubles (91,88%) y las brevas verdes en madurez de cosecha fueron las que obtuvieron el valor más bajo expresado en muestra seca (52,13%). También es válido si se expresa en muestra húmeda.

En madurez de cosecha hubo diferencias significativas entre todas las muestras.

En madurez de consumo las diferencias significativas se dieron entre ambos higos no así entre ambas brevas, pero sí de las brevas con cualquiera de los higos.

En *sobre madurez* se presentaron diferencias significativas entre brevas y entre higos.

Los valores obtenidos son levemente

inferiores en madurez de cosecha a los descritos por Turk *et al* (1994) para el cv. *Bursa Siyahi*.

Los sólidos solubles describieron un modelo matemático potencial cuando se avanzó en los estados de madurez.

Evolución de cenizas (*que representan los minerales*)

Los higos negros en *sobre madurez* presentaron los valores más altos (5%) y los higos verdes en madurez de cosecha los valores más bajos. En madurez de cosecha no se presentaron diferencias significativas entre las muestras.

En madurez de consumo sólo se presentaron diferencias significativas entre ambas brevas. Contrariamente en *sobre madurez* no se presentaron diferencias significativas entre las muestras de brevas pero sí entre las restantes muestras.

Los valores obtenidos están cercanos a los obtenidos para otras variedades (Salem y Abdul-Nour 1979 y Flores 1990).

No se logró describir un modelo matemático (RN3) que explicara el aumento de las cenizas.

Evolución de los azúcares

Azúcares Reductores. En primer lugar hay que decir que los azúcares reductores identificados fueron glucosa ($\alpha + \beta$), fructosa ($\alpha + \beta$) y a-manosa predominantes en todas las muestras. Esto está de acuerdo con estudios hechos en otros cultivares como Mission (Crane y Brown 1950). En la breva verde en estado madurez de cosecha se encontró la menor concentración de azúcares reductores (50,6) y en la breva negra en madurez de consumo la mayor (85,27%).

Los azúcares reductores presentaron diferencias significativas entre todas las muestras y en cada uno de los estados de madurez.

– La fructosa fue el azúcar encontrado en mayor proporción en higos lo cual está de acuerdo con Kawamata (1970) salvo para higos negros en sobremadurez, donde es superado por la glucosa. La fructosa

CUADRO 1: Evolución de los diversos parámetros en tres estados de madurez.
TABLE 1: Evolution of various parameters at three ripeness stages.

	Humedad ⁽¹⁾	(g/100 g de muestra seca)			Azúcares totales
		Sólidos solubles	Cenizas	Azúcares reductores	
<i>Madurez de cosecha</i>					
Breva verde	86,68 ^a	52,13 ^d	2,87 ^{ab}	50,60 ^d	50,67 ^d
Breva negra	83,25 ^b	81,54 ^b	3,30 ^a	79,46 ^a	80,54 ^a
Higo verde	86,81 ^a	74,26 ^c	2,50 ^b	63,48 ^c	63,83 ^c
Higo negro	81,14 ^b	86,14 ^a	2,96 ^{ab}	73,58 ^b	77,64 ^b
<i>Madurez de consumo</i>					
Breva verde	84,42 ^a	88,11 ^b	2,83 ^b	76,27 ^b	76,53 ^d
Breva negra	81,98 ^a	88,74 ^b	3,28 ^a	85,27 ^a	86,42 ^a
Higo verde	82,59 ^a	86,26 ^c	2,88 ^b	76,57 ^b	77,89 ^c
Higo negro	76,76 ^b	90,48 ^a	3,05 ^{ab}	74,57 ^c	79,43 ^b
<i>Sobremadurez</i>					
Breva verde	71,04 ^a	87,65 ^c	3,24 ^b	83,63 ^a	85,07 ^a
Breva negra	70,52 ^a	89,45 ^b	3,35 ^b	77,08 ^b	77,85 ^b
Higo verde	65,67 ^a	89,94 ^b	2,70 ^c	72,2 ^d	72,50 ^d
Higo negro	65,52 ^a	91,88 ^a	5,00 ^a	74,23 ^c	75,35 ^c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas para cada estado de madurez en columnas, con un $\alpha = 0,05$.

⁽¹⁾ La humedad está expresada en g/100g de muestra húmeda.

CUADRO 2. Evolución de los azúcares en tres estados de madurez.
TABLE 2: Evolution of carbohydrates at three ripeness stages.

	Fructosa ⁽¹⁾	(g/100 g de muestra seca)		Sacarosa
		α -Manosa	Glucosa	
<i>Madurez de cosecha</i>				
Breva verde	22,30 ^d	5,04 ^d	23,26 ^d	0,07 ^d
Breva negra	40,65 ^a	6,79 ^a	32,02 ^a	1,08 ^b
Higo verde	29,14 ^c	6,30 ^b	28,04 ^c	0,35 ^c
Higo negro	37,74 ^b	6,10 ^c	29,74 ^b	4,06 ^a
<i>Madurez de consumo</i>				
Breva verde	34,07 ^d	7,51 ^a	34,69 ^a	0,26 ^d
Breva negra	43,59 ^a	7,14 ^b	34,54 ^b	1,15 ^c
Higo verde	39,69 ^b	6,66 ^c	30,22 ^c	1,32 ^b
Higo negro	38,28 ^c	6,14 ^d	30,15 ^d	4,86 ^a
<i>Sobremadurez</i>				
Breva verde	42,38 ^a	7,23 ^b	34,02 ^c	1,44 ^a
Breva negra	33,64 ^b	7,63 ^a	35,81 ^a	0,77 ^c
Higo verde	33,38 ^b	7,28 ^b	31,55 ^d	0,29 ^d
Higo negro	31,52 ^c	7,34 ^b	35,37 ^b	1,12 ^b

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas para cada estado de madurez en columnas, con un $\alpha = 0,05$.

⁽²⁾ Los valores de Fructosa y Glucosa corresponden a la suma de los isómeros a y b.

presentó diferencias significativas entre todas las muestras para estados madurez de cosecha y consumo. En sobremadurez existieron diferencias entre higos verdes y negros así como también entre brevas verdes y negras. No así entre brevas negras con higos verdes.

– La glucosa se comportó según lo descrito por Tsantili (1990) para variedades de higo *Tsapela* ya que su concentración aumentó a medida que se avanzó en la madurez. Los valores más altos fueron en *sobre madurez* donde brevas e higos negros tuvieron valores de 35,81 y 35,37%. El valor menor en brevas verdes en madurez de cosecha fue de 23,26%.

– La α -manosa fue encontrada en todas las muestras en un tercer lugar. No se había descrito con anterioridad este azúcar pues son pocos los trabajos con higueras del tipo común. Las diferencias fueron significativas en madurez de cosecha y madurez de consumo entre todas las muestras. En *sobre madurez* se encontraron diferencias salvo entre los higos.

– La sacarosa fue el azúcar encontrado en menores concentraciones lo cual está de acuerdo con Hulme (1970) citando a Widdowson y McCance.

Evolución de azúcares totales: como son calculados en base a la suma de azúcares reductores más azúcares no-reductores, que en nuestro caso fue la sacarosa y que existía en muy pequeña proporción, podemos decir que su comportamiento es similar a los azúcares reductores, siendo la breva verde la de menor concentración en azúcares totales y la breva negra la de mayor concentración.

CONCLUSIONES

Los azúcares encontrados en todos los estados de madurez de higos y brevas fueron los mismos: Glucosa α y β , fructosa α y β , α -manosa y sacarosa.

La concentración de azúcares reductores y de azúcares totales se incrementó desde madurez de cosecha a madurez de consumo y posteriormente hubo un leve descenso. Esto ocurrió en higos negros, higos verdes y brevas negras, no así en

brevas verdes en que el aumento en la concentración de azúcares fue sostenido desde madurez de cosecha hasta *sobre madurez*.

Los sólidos solubles presentaron un aumento sostenido desde cosecha hasta *sobre madurez* en las muestras de higos negros, higos verdes y brevas negras.

Respecto a los parámetros de humedad y cenizas se determinaron variaciones significativas en algunos casos y en otros no se observaron cambios.

LITERATURA CITADA

- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)1980. Official Method 971.18. Carbohydrates in fruit juices, gas chromatography method, Official Methods of Analysis, 37:14-15.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of Official Agricultural Chemists, Washington, D.C.
- AXTMAYER, J. 1942. Manual de Bromatología. London Academic Press. 456p.
- BUSTILLOS, V. y SAENZ, D. M. 1985. Perspectivas comerciales de producción para *Ficus carica* y *Diospiros Kaki*. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 127p.
- CRANE, J.C. and BROWN, J.G. 1950. Growth of the fig fruit, *Ficus carica* var. Mission. Proc. Am. Hortic. Sci., 56:93-97.
- CRANE, J.C., MAREI, N. and NELSON, N.M. 1970. Growth and maturation of fig fruits stimulated by 2-chloroethyl phosphonic acid J. Am. Hortic. Sci., 95:367-370.
- FODA, Y.H., and HASSAN, Y.M. 1963. Technological studies on the dehydration of fig fruits grown in the western coast of Egypt. Annals of Agricultural Sciences, Ain-Shams University, Cairo, 8:129.
- FLORES, A. 1990. La higuera. Frutal mediterráneo para climas cálidos, España, Mundi Prensa, 190p.
- HULME, A.C. 1970. The biochemistry of fruits and their products. Academic Press. London. Vol.1.
- INTEC-CHILE. 1990. Análisis técnico económico de frutales tradicionales y no tradicionales de la IV Región. Antecedentes Agronómicos. Santiago, 109p.

- JACOB, H.F., 1942. The relation of maturity of the grapes to yield, composition and quality of raisins *Hilgardia* 14:6.
- KAWAMATA, S. 1977. Studies on determining the sugar composition of fruits by gas-liquid chromatography. *Tokyo-to Agric. Exp. Stn. Japan*, 10:53-67.
- KLINE, D.A., FERNANDEZ-FLORES, E. and JONHNSON A., 1970. Quantitative determination of sugars in fruits by GLC separation of TMS derivatives. *Journal of the AOAC* 53:6.
- SALEM, S. and ABDUL-NOUR, B.A. 1979. Sugars and amino acids in dried iraqi figs. *J. Sci. Food Agric.* 30:620-622.
- SUDZUKI, F. 1983. *Cultivo de frutales menores*. Editorial Universitaria. Santiago. 184p.
- TSANTILI, E. 1983. Changes during development of tsapela fig fruits. *Soc. Hort. Sci.* 44:227-234.
- TÜRK, R., ERIS, A., OZER, M.H. and TUNCELLI, E., 1994. Research on the controlled atmosphere storage of fig cv. bursa siyahi. *Acta Horticulturae* 368:830-839.
- WIDDOWSON, E. and Mc CANCE, R. 1935. Recovery of sugars added to fruits. *Biochem., J.* 29:151-156.

NUEVOS DESARROLLOS AGRONÓMICOS PARA INCREMENTAR EL USO EFICIENTE DEL AGUA

New agronomic advances to increase water use efficiency

RAFAEL NOVOA S.A.
Sociedad Agronómica de Chile

RESUMEN

Existen múltiples razones por las cuales es necesario mejorar la eficiencia del uso del agua (EUA) dulce en agricultura. Entre ellas, los volúmenes de agua disponibles, el gran uso de ella que hace la agricultura, la creciente competencia por usos alternativos y su contaminación. Parece conveniente una nueva definición que permita diferenciar el efecto del cultivo, del clima, del suelo y situaciones de riego y de secano: la de eficiencia agronómica de uso del agua, EAUA ($\text{Kg m.s. producto cosechado ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = $(M * T * Eb^{-1} * IC) / (R + LL + \Delta H)$. Ello permite visualizar mejor que factores se puede mejorar en un caso dado. Basándose en esta nueva definición, en principios agronómico (uso de organismos eficientes, proveer de las condiciones ecológicas adecuadas a esos organismos, hacer una buena gestión) y, en los balances de energía e hídricos, se discute las técnicas agronómicas clásicas, que se puede usar para mejorar la eficiencia y su fundamento científico. Para el mejoramiento futuro de la eficiencia del uso agronómico del agua se analiza el caso de la biotecnología, la agricultura de precisión, la quemigación, los biosensores, la automatización, la mecanización de alta tecnología y las nanotecnologías. Se concluye que la mejora de la eficiencia del uso del agua implica, por un lado, conocer y aplicar prácticamente toda las técnicas agronómicas conocidas pertinentes para aumentar los rendimientos y por otro, las técnicas de manejo del agua lluvia y de

riego. El futuro se ve lleno de nuevas posibilidades para mejorar el uso agronómico del agua.

PALABRAS CLAVE: eficiencia, agua, agronomía, agricultura

ABSTRACT

There are many reasons to improve the water use efficiency in agriculture (WUE). Among them: the amount of sweet water available, the high use of water in agriculture, the increasing demand of alternatives uses and water pollution. It seems timely to propose a new definition, that differentiate the effects of crop, climate, soils, irrigation or rain fed agriculture: the agronomic efficiency of water use, AEWU ($\text{Kg d.m.of harvested product ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = $(M * T * Eb^{-1} * IC) / (R + LL + \Delta H)$. This definition allows to better visualize which factors can be improved in a given case. Based on this new definition, on three basic agronomic principles (use of efficient plants, provide the appropriate ecological conditions to these plants and appropriate management), on energy and water balances, a discussion of the traditional agronomic practices that can be used to improve AEWU and its scientific base.

Concerning future improvements of AEWU the effect of biotechnology, site specific agriculture, quemigation, biosensors, automation, high tech. mechanization and nanotechnologies are discussed. To improve AEWU means for one hand to know and apply the known agronomic

practices to improve yields and on the other the techniques to handle irrigation and rain waters. The future is full of new possibilities to increase AEWU.

KEY WORDS: water, efficiency, agronomy, agriculture

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA

Situación general

La mayoría de las plantas y los animales, y por ende la agricultura, requieren un adecuado suministro de agua dulce para su crecimiento y sobrevivencia. Nuestro planeta, sin embargo, tiene una dotación limitada de ella, la que no va más allá del 3% de la dotación de agua total. El restante 97% es salino, constituyendo mares y océanos. Además, sólo un 17% de las aguas dulces y oligohalinas está disponible para uso humano, el restante 83% es de muy difícil acceso, por ubicarse en casquetes polares y glaciares. Finalmente, sólo el 0,6% del agua disponible (equivalente al 0,1% del agua dulce y al 0,003% del agua total del planeta) puede ser de consumo humano. Esta agua se encuentra formando lagos, ríos y napas subterráneas. Por otro lado, las aguas aprovechables por la Humanidad, presentan una distribución temporal y geográfica fuertemente irregular y desuniforme, con notables desigualdades entre años y regiones, todo lo cual impide una mejor satisfacción de las necesidades humanas. Así, por ejemplo, puede mencionarse que, mientras un habitante de Islandia cuenta con 685.000 m³/año, otro de Egipto sólo dispone de 20 m³/año. Esta desigualdad en la distribución de las aguas es una situación de común ocurrencia en nuestro país, con grandes diferencias entre el árido norte (con sitios donde casi nunca llueve) y el lluvioso sur (con sitios donde llueve más de 3 m/año).

Si consideramos, la extracción mundial de aguas dulces, ella ha aumentado 6 veces desde 1950 y 3,5 veces desde 1990, Dirección General de Aguas (DGA) chilena (1999) y la demanda per cápita, en tan-

to, se ha triplicado desde 1950, debido principalmente al incremento de la población, a la expansión e intensificación de la agricultura y al mayor desarrollo tecnológico e industrialización. Sin embargo, el incremento poblacional está haciendo que la mayor extracción mundial no se refleje en la dotación por persona, la que ha caído en un 37%, desde 1950. La explotación y usos dados a esta agua varían considerablemente entre países, en función de sus poblaciones y nivel de desarrollo. Así, USA, la República Popular China, la India y la Federación Rusa tienen los mayores volúmenes de extracción. Según su uso, CONAMA 2001, el promedio mundial establece que el agua dulce extraída es destinada a:

- riego, en un 63%,
- generación de energía eléctrica, extracción y refinamiento de hidrocarburos y enfriamiento de plantas industriales, en un 23%,
- minería, en un 7%, y
- uso doméstico, en un 7%.

La agricultura, y por lo tanto la producción de alimentos, de grandes extensiones del mundo y de Chile es dependiente de la disponibilidad de agua dulce para riego. El área regada mundial que alcanza unos 263 millones de ha, comprende un 15% de los suelos arables y produce un 36% de los alimentos lo que implica que el control del suministro hídrico conduce a mejoras notables de productividad (Howell, 2001). Por otra parte, el aumento de la población mundial y su creciente demanda de alimentos, energía, agua potable y satisfacción de otras necesidades, imponen una presión cada vez mayor sobre el recurso agua y su eficiencia de uso. Además, gran parte de las áreas regadas actuales sufrirán un aumento de la demanda de agua asociada al cambio climático y a la contaminación por diversas vías: uso de agroquímicos en agricultura, uso doméstico, industrial y otros.

Situación en Chile

De acuerdo a la DGA (1999), el uso del agua en el país alcanza a unos 2.000 m³

caudal continuo, de los cuales unos 650 m³/s se destinan a usos consuntivos y los restantes 1350 m³/s a no consuntivos. Se trata de una situación prácticamente inversa al promedio mundial, donde el uso consuntivo es el mayoritario, lo que grafica las grandes diferencias en los usos que los países dan a sus recursos hídricos y releva el riesgo de usar estadísticas globales, para la toma de decisiones en un ámbito nacional. Los usos no consuntivos se localizan en la actualidad, preferentemente, entre las regiones VII y VIII, desde donde se produce la mayor cantidad de hidroelectricidad. En Chile, el principal uso consuntivo es el riego, que consume el 84,5% de las aguas dulces extraídas, con un caudal medio de 546 m³/s. Con esta dotación son regadas, aproximadamente, 2 millones de hectáreas que se localizan casi en su totalidad entre las regiones I y IX. Se estima que 1,3 millones de hectáreas tienen una seguridad de riego razonable, 80% mínimo, quedando unas 700 mil hectáreas de riego eventual, que sólo recibirán agua de riego en años con abundantes lluvias. Los otros usos consuntivos importantes son el industrial (con un 6,5%, equivalente a 42 m³/s), el minero (con un 4,5%, unos 29 m³/s) y, finalmente, el doméstico (con un 4,4%, unos 28 m³/s).

El riego es el principal uso consuntivo del agua, superando largamente el 50% en el territorio comprendido entre las regiones IV y IX. Su importancia decrece en ambos extremos, por distintas causas: en el norte, por la escasez de agua, de territorio agrícola y la presión de otros usos (minero, industrial y doméstico); en el sur, por no ser necesario ya que las lluvias cubren la demanda.

La magnitud del consumo de agua dulce, en Chile, es significativamente menor que el promedio mundial. El consumo de agua en Chile alcanzó en 1999, a los 1.400 m³/hab/año, cifra significativamente inferior al promedio mundial, que fue de 6.900 m³/hab/año (DGA, 1999). Por otro lado, el promedio nacional no refleja la disponibilidad y demanda en cada región del país; a este respecto, debe destacarse que la disponibilidad de agua por

habitante, desde la Región Metropolitana, al norte es muy pequeña, con rangos fluctuantes entre 500 y 1.000 m³/hab/año, siendo altamente restrictiva para el desarrollo económico. Ello significa que la actividad humana está limitada en Chile desde la RM al norte, donde la demanda actual excede la disponibilidad de aguas; este déficit es debido a las siguientes tres causas: escasa dotación de aguas dulces, especialmente en las regiones que conforman el Norte Grande, donde hay dominio de climas semiáridos y áridos, alta densidad poblacional, específicamente en las regiones Metropolitana y V, y alta concentración de actividades industriales, en la Región Metropolitana, y mineras, en la II Región.

Desde el punto de vista de la producción agropecuaria, el caso chileno es similar al mundial, la agricultura de las áreas de climas Desérticos que se extienden desde el paralelo 18 al 30, Regiones I a III, y las de climas Mediterráneo que se extienden desde la IV a la VIII regiones, latitudes 30 a 38, son las de agricultura más productiva y en las que se genera el grueso de nuestra producción agrícola, a pesar que se ven muy afectadas por extensos períodos del año por falta de agua. Así, el 83,5% del Producto Interno Bruto Agrícola, PIBA, el 99% de las exportaciones agrícolas primarias y el 98,6% de las exportaciones agro industriales del país es generado en estas regiones (Cuadro 1).

Todo ello gracias a la disponibilidad de agua de riego, ya que sin ella la producción de cultivos, hortalizas y frutales de verano, no sería posible y la de cultivos de invierno vería muy reducidos sus rendimientos. Además, en algunos sectores de las regiones IX y X con clima mediterráneo y muy especialmente en buena parte del sector nor-oriental la XII región con clima pampeano, hay también falta de agua. Por otra parte, los crecientes requerimientos de agua para generación de energía, suministro de agua potable, de la agricultura regada y para el sector industrial, en todas las regiones significará una mayor competencia por este recurso, sin olvidar una mayor degradación de su calidad, lo que

Cuadro 1: Producto interno bruto agrícola (PIBA), exportaciones agrícolas primarias e industriales por Región, del año 1997.

Table 1: Gross internal agricultural product (PIBA), primary agricultural exports and industrial exports per region, 1997.

<i>Región</i>	<i>PIBA Millones de US</i>	<i>Exportaciones agrícolas primarias miles US\$</i>	<i>Exportaciones industriales Miles US\$</i>
I	2.413	1.165	1.286
II	478	290	307
III	21.555	92.914	1.784
IV	32.483	105.144	11.714
V	46.363	154.347	110.283
RM	67.980	321.836	532.023
_VI	80.695	240.990	113.388
VII	80.615	100.641	139.896
VIII	44.848	25.844	56.769
IX	29.288	4.068	1.664
X	37.073	4.919	12.075
XI	3.340	15	352
XII	5.004	88	120
Total	452.135	1.052.261	981.661
I a VIII	377.430	826.280	967.450
% del total	83.5	99.1	98.6

Fuente: ODEPA en millones de pesos de 1986.

significa complejos desafíos que el país deberá abordar (Brown, 1996). A lo anterior se suma el efecto del cambio climático que desde la IV región a la X ha visto disminuir las precipitaciones desde 1906 adelante y las estimaciones de que un aumento de 3° en la temperatura afectará el régimen de algunos ríos entre Copiapó y Santiago en forma adversa, aumentando los caudales en invierno y reduciéndolos en verano. Siendo la agricultura el mayor consumidor de agua, lo hace con una eficiencia de aplicación al nivel de potrero, que para algunos van entre 30 y 40% (Santibañez y otros, 1996). Otras estimaciones (CNR, 2005) indican que para la zona Norte, I a IV regiones) esta eficiencia es de un 48%; en la zona Centro, Regiones V a VI, es de 41 a 49%; en la zona centro Sur, regiones VII a VIII es de 35 a 69% y, más al Sur, regiones IX y X es de 35%. Sin embargo, al nivel de la cuenca, esta eficiencia es mucho mayor, el doble o más, ya que los derrames o excesos de agua aplica-

dos son reutilizados aguas abajo. Esta mayor eficiencia de las regiones norte se debe al mayor uso de tecnologías de riego más eficientes (goteo, micro aspersión y otros). Los antecedentes anteriores resaltan la urgente necesidad de mejorar sustancialmente en agricultura. la eficiencia del uso del agua.

EL CONCEPTO DE EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

La preocupación por la calidad o eficiencia del uso del agua ha conducido a que los diversos expertos, cuyo trabajo se vincule a este elemento, busquen expresiones que en forma simple resuman una situación dada desde el prisma de su especialidad. Así, los fisiólogos vegetales hablan de eficiencia de transpiración (unidad de biomasa sintetizada por unidad de agua transpirada) o de la razón de transpiración, (moles de agua transpirada por moles de CO₂ fijado), Taiz y Zeiger, 1991.

Otros especialistas hablan de otra razón de transpiración, quizás la más interesante de estas es la que define producción de materia seca, P, como proporcional a la razón entre agua transpirada y la evaporación de bandeja.

$$P = M \cdot T \cdot Eb^{-1} \quad (1)$$

Donde T= Agua Transpirada; Eb= Evaporación de Bandeja y M= constante

M es una constante característica de cada especie y variedad e independiente del clima, del estado nutricional (no muy bajo) y de la disponibilidad de agua (siempre que no sea excesiva), (de Wit, 1958, Viets, 1962, van Keulen, 1975). Los valores encontrados para M, kg ha⁻¹ día, son: vegetación natural de 80 a 100, para trigo de 106 a 115⁻¹, 207 para sorgo y 55 a 105 para alfalfa, según la variedad. Los especialistas en riego hablan de eficiencia de aplicación (agua retenida en la zona de raíces/agua aplicada), rendimiento de almacenaje (cantidad de agua almacenada en la zona de raíces deficitaria/agua aplicada), eficiencia de distribución (estadígrafos: media y desviación estándar de la distribución espacial del agua aplicada) o eficiencia de conducción (agua neta conducida/ agua total entregada al sistema) y otras (López et al., 1992; Bos y Nugteren, 1990). Últimamente se ha propuesto, la expresión llamada eficiencia general de riego, (Eg), (Wang et al. 1996).

$$Eg = ((\alpha \cdot Ea \cdot Es) / (Ea + Es - Ea \cdot Es)) \quad (2)$$

Siendo:

α : fracción de transpiración, T * ET⁻¹, T: transpiración, Ea: eficiencia de aplicación, Es: eficiencia de almacenaje, ET: evapotranspiración.

Sin embargo, esta expresión no considera la eficiencia de distribución del agua de riego que afecta la eficiencia general.

En agronomía la eficiencia del uso del agua (EUA), la más usada por los investigadores, se definen como la razón entre el rendimiento de producto comercial y el agua evapotranspirada para producir ese rendimiento (Viets, 1962, Cooper et al. 1991, Hatfield et al. 2001, Howell, 2001).

$$EUA(kg \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}) = \text{Producto Comercial} (kg \text{ ha}^{-1}) / \text{Evapotranspiración, mm} \quad (3)$$

El rendimiento de producto comercial puede ser biomasa total, grano, hojas u otro órgano, según el cultivo. La evapotranspiración es la suma de la transpiración (evaporación de agua desde estomas y epidermis de las hojas) más la evaporación de agua desde la superficie del suelo.

Esta definición de la eficiencia es muy global y no da cuenta, explícitamente, del efecto del cultivo, ni del riego, ni de la lluvia o cambios en el contenido de agua del suelo factores que afectan el valor de esta eficiencia. Otras expresiones más recientes consideran la lluvia efectiva, el riego y el cambio de humedad del suelo (Howell, 2001).

Algunos valores de la EUA, tomados de Tablas 1 y 2 de Hatfield et al. (2001), para diversos cultivos se muestran en el Cuadro 2.

Las altas eficiencias del maíz y el sorgo se deben posiblemente a que son plantas C₄ mientras que las otras son C₃, diferencia que discutiremos más adelante.

Una expresión que defina en los términos más globales la eficiencia agronómica del uso del agua debe incluir los aportes

CUADRO 2: Eficiencia de Uso del Agua en algunos cultivos medidas bajo condiciones de secano y riego. EUA, kg ha-1 mm-1.

TABLE 2: Water use efficiency of some crops measured under dryland and irrigation. WUE, kg ha-1 mm-1

Cultivo	Secano	Riego
Maíz, grano	2,4-22,8	10,2-15,8
Trigo Pan, grano	2,9-18,3	4,0-8,0
Trigo Durum, grano		10,9
Cebada, grano	3,6-6,7	
Remolacha, raíces	6,6-8,3	
Sorgo, grano	3,5- 16,3	
Soya, grano	2,5 - 3,5	
Girasol, grano	3,8 - 7,9	
Garbanzo, grano	8,4 - 15,0	
Mijo, grano	1,0-2,2	
Alfalfa, mat.seca		17,0-30,8

totales de agua no los netos. Además, es agronómicamente conveniente que ella permita diferenciar el efecto del cultivo, del clima, del suelo y situaciones de riego y de secano. Ello tiene la ventaja de facilitar la identificación de los factores que podría modificarse, en un caso dado, para mejorarla. Así, una fórmula, que sin pretender ser la mejor posible, pero que incluye estas consideraciones, sería la siguiente:

$$EAUA = (M * T * Eb^{-1} * IC) / (R + LL + \Delta H) \quad (4)$$

EAUA: eficiencia agronómica del uso del agua, en Kg m.s. del producto cosechado $ha^{-1} mm^{-1}$

M: Constante propia de cada cultivo, Kg.m.s. ha^{-1}

T: Transpiración, mm

Eb: Evaporación de bandeja, mm

IC: Índice de cosecha, fracción de la biomasa representada por el producto comercial.

R: Agua total aplicada por el riego, mm

LL: Agua total proveniente de la lluvia, mm

ΔH : Variación del contenido de humedad del suelo, mm.

En esta expresión, el numerador representa el producto comercial producido deducido de la expresión dada por de Wit (1958) y el denominador el total de agua puesta a disposición del cultivo. El efecto del cultivo es caracterizado por los parámetros M e IC, el efecto de factores meteorológico (radiación solar, energía térmica, déficit de saturación, viento y agua lluvia) por Eb y LL, el efecto del agua de riego por R y del suelo por (DH).

Bajo condiciones de secano se ha usado el término EUA como la razón entre la producción de producto comercial por el agua de lluvia total recibida (Bolton, 1981).

PRINCIPIOS AGRONÓMICOS

La agronomía moderna, orientada a optimizar los rendimientos comerciales de las especies vegetales de interés socio-económico, se puede resumir en tres grandes principios:

1. Uso de organismos vegetales eficientes.

2. Dar a esos organismos las condiciones ambientales adecuadas

3. Hacer una buena gestión.

Siguiendo el concepto de eficiencia agronómica de uso del agua y estos principios se analiza las opciones agronómicas para aumentar esta eficiencia.

ENFOQUES AGRONÓMICOS ACTUALES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA

Si consideramos la fórmula 4, las opciones agronómicas tradicionales para influir en la eficiencia del uso del agua están orientadas, por un lado, a mejorar los rendimientos comerciales (aumentar el valor del numerador) y/o mejorar el uso y manejo del agua (reducir el valor del denominador) por otro. A continuación se discute las alternativas agronómicas para mejorar los rendimientos.

4.1. Uso de organismos eficientes

La agricultura actual moderna hace uso de razas animales o variedades vegetales que han sido mejoradas por técnicas derivadas de la teoría genética clásica. Este mejoramiento genético convencional ha permitido obtener variedades vegetales que generan más y mejores productos, que maximizan el provecho de las condiciones ambientales y de las técnicas agronómicas que se les aplica para la producción del producto comercial que interesa. Por ello, una de las maneras más exitosas y seguras para mejorar los rendimientos, y por lo tanto la EAUA, es usar la variedad adecuada al clima, al suelo y al producto que se desea producir. En los mercados existe, para los diversos cultivos, una amplia gama de variedades de donde elegir. La información disponible para el caso del mejoramiento genético de trigo de primavera, bajo riego, indica que por esta vía es posible lograr aumentos de rendimientos anuales entre 0,5 a 1,1% y cifras similares y mayores, hasta 1,9%, en condiciones de secano (Byerlee y Moya, 1993). El fitomejoramiento del trigo, en Chile, ha tenido gran efecto en lograr in-

crementar los rendimientos, se estima que en 30 años el aumento de rendimientos se debió en un 45,6% al mejoramiento y en 54,4% a su manejo, (Hewstone, 1997). Gran parte de este impacto se debe al aumento en la resistencia a enfermedades y al cambio en el índice de cosecha del trigo. Un análisis del mejoramiento hecho en trigos de invierno ingleses sugiere que todavía es posible aumentar el índice de cosecha desde valores actuales cercanos a 0.45 hasta valores de 0.6 y con ello incrementar más aún los rendimientos de este cereal (Austin *et al.* 1980).

Además del mejoramiento genético se puede mejorar el índice de cosecha vía el uso de hormonas como el CCC, en algunos cultivos, las podas en otros o el anillado en vides.

También es lícito pensar en hacer mejoramiento genético para incrementar la EAU. Así, en teoría, se podría pensar en controlar el tamaño de las hojas y su tasa de emergencia según las disponibilidades de agua; cambiar el ángulo de inserción de las hojas en el tallo para mejorar la captación de energía del conjunto de hojas; aumentar el número de estomas para mejorar la rapidez y control de la apertura de los estomas; reducir la permeabilidad de la cutícula de las hojas, para reducir las pérdidas de agua desde su superficie, introduciendo la capacidad para producir depósito de cera en ella; reducir la vello-sidad de las hojas para disminuir la resistencia al flujo de CO₂, modificar el color de las hojas para aumentar la reflexión de la radiación electromagnética y requerir menos transpiración; mejorar el sistema radicular para mejorar su profundidad, su capacidad para absorber agua, su capacidad para regular su conductividad hidráulica de acuerdo a las condiciones hídricas; modificar las plantas y sus hojas hacia formas más cilíndricas, para reducir la superficie expuesta al sol; seleccionar plantas para mejorar la osmoregulación; lograr una composición química más rica en carbohidratos, que en proteínas o lípidos, para generar más biomasa por unidad de glucosa fotosintetizada o controlar la abscisión de hojas. (Monneveux y

Belhassen, 1997, Morgan, 1991, Sinclair y De Wit, 1975, Taiz y Zeigers 1998).

Las dificultades prácticas con la que tropiezan los mejoradores para introducir los genes necesarios para transformaciones como las anteriores son: disponer del material genético de la especie a mejorar, que contenga los genes necesarios y, otra, no contar con métodos de terreno adecuados para medir los cambios en el gran número de plantas que implican las poblaciones segregantes. Técnicas importantes, en estos aspectos, son el uso de termómetros infrarrojos (plantas que transpiran más poseen temperaturas de hojas más bajas), la discriminación isotópica ($\Delta^{13}C$ por mil = (R aire/R plantas), $R = C^{13}O_2 / C^{12}O_2$, a mayor discriminación menor eficiencia, Rubisco $\Delta^{13}C$ -30 por mil, PEP carboxilasa -2-6) y el análisis de imágenes y la teledetección en maíz (Lauderback, Universidad de Nebraska, comunicación personal).

4.2. Dar a esos organismos las condiciones ambientales adecuadas

Esto es dar las condiciones climáticas y atmosféricas, de suelo, nutricionales, hídricas y sanitarias que permitan la plena expresión del potencial genético de las variedades cultivadas y así maximizar los rendimientos.

4.2.1. El clima y la atmósfera

El clima y la atmósfera establecen el entorno físico: energía luminosa, térmica, eólica; el químico: CO₂, O₂, H₂O, N, metano, óxidos de N, etc., y el biológico: esporas de hongos, insectos, malezas etc., en el cual crecen las plantas.

La manera tradicional de abordar el tema del clima, en términos muy generales es ante todo, elegir la especie o variedad a cultivar según el agroclima y elegir la época de siembra de tal manera que optimice el rendimiento. Así, en climas mediterráneos se elige el momento de la siembra de los cereales de manera que la floración se produzca después de las heladas, el llenado del grano empiece lo antes

posible mientras dura el agua almacenada en el suelo o se evite el ataque de hongos. Otras alternativas, modificar las condiciones físicas o químicas usando invernaderos o cortinas cortaviento son factibles. El control de bajas temperaturas aportando energía térmica vía quema de petróleo o congelamiento de agua, puede ser necesario en condiciones agrometeorológicas con heladas de primavera, pero sólo es económico en el caso de cultivos muy rentables, cuando su duración o frecuencia de ocurrencia es baja. Cuando los aportes hídricos del clima son insuficientes el riego se hace indispensable.

El clima provee la energía y ambiente térmico básicos tanto para los intercambios gaseosos (fotosíntesis, respiración y transpiración) como para el crecimiento y desarrollo de un cultivo.

La ecuación del balance de energía de un cultivo, que describe como la energía solar de onda corta absorbida es disipada, permite visualizar y cuantificar los procesos que disipan la radiación solar absorbida, o neta, que aporta el clima (Gates, 1965, Monteith, 1973, Rose, 1966). Además nos permite ordenar y guiar en las tecnologías a usar.

$$(1-\alpha) * R_s = F + RL + H + G + L * (E+T) + Q \quad (5)$$

α : Albedo o coeficiente de reflexión de la energía solar de onda corta.

R_s : Radiación solar incidente de onda corta.

RL : Radiación de onda larga emitida por el suelo y cultivo.

H : Energía transmitida al aire o calor sensible por convección.

G : Energía absorbido por el suelo por conducción.

L : calor latente de evaporación.

E : evaporación desde el suelo.

T : transpiración, evaporación desde la planta.

F : Energía usada en la Fotosíntesis.

Q : Energía usada en calentar las plantas.

Para una cubierta vegetal, la energía solar neta anual promedio, se disipa en un 50-80% por el proceso de evaporación, $L(E+T)$, un 20-30% como RL , un 10-20% como H , un 5-10% como G y entre 0,5- 3%

por el proceso fotosintético (F), (Gates, 1965).

De acuerdo a esta ecuación nos interesa maximizar F, RL, H, G, Q, T y minimizar E para mejorar la eficiencia de uso del agua.

Si consideramos el caso de F , la energía solar influye tanto por su intensidad como por su duración, la primera de efecto directo en intensidad de la fotosíntesis total (FT) y la segunda por la fotosíntesis total diaria y por el efecto en el proceso de floración de muchas especies (fotoperíodo). Por otra parte, el ambiente térmico que influye en la respiración (R , proceso que al liberar CO_2 , reduce la acumulación de biomasa si es muy intensa) y en la velocidad de desarrollo de las plantas enfermedades y plagas, En condiciones de temperaturas bajas la velocidad de desarrollo es lenta y los períodos fenológicos se alargan. Desde el punto de vista de las plantas, si la temperatura es muy baja, cercana a cero, la respiración es, también, lenta y el crecimiento es nulo o bajo. Si es alta, la velocidad de desarrollo es alta, reduciendo el período de crecimiento y recolección de energía solar pero la respiración aumenta reduciendo la fotosíntesis neta ($FN = FT - R$). Por lo tanto dos climas que reciban igual radiación: uno con altas temperaturas de noche producirá rendimientos menores que otro de temperaturas nocturnas más bajas, siempre que no sean muy bajas. Estudios de los rendimientos de trigo en diversos países de Latino América ilustran este caso. Chile que con días cálidos y noches frescas tiene rendimientos 50% mayores que los de Argentina o Uruguay a igual latitud con temperaturas más altas de noche (Díaz y Abadie, 1997).

Técnicas agronómicas tales como una buena elección de la época de siembra, la densidad de plantación, la orientación de las hileras, son muchas veces decisivas en mejorar la fotosíntesis del cultivo por adecuar el crecimiento al régimen térmico, al radiativo y por aumento del área foliar, lo que maximiza los rendimientos. Así, en Chile, se encontró que para lograr altos rendimientos en maíz (15 a 20 toneladas por ha) había que sembrar en Octubre y aumentar la densidad de plantación de 20

-30 mil plantas por ha, que era lo usual, a sobre 80.000. Bajo condiciones de invernadero se puede también aumentar la concentración atmosférica de CO₂ con lo cual es posible incrementar la fotosíntesis y los rendimientos, ya que el flujo de este gas es proporcional al gradiente de concentración entre el aire y la cavidad subestomática. Bajo condiciones de campo ello es más difícil debido al viento que disipa el gas y no permite aumentar fácilmente su concentración, en torno a las hojas.

Las técnicas para modificar RL y H se discuten en la sección 4.2.2, suelo por ser aplicadas a éste.

Por otra parte, el clima, la atmósfera y el riego determinan también el régimen hídrico. Al igual que para el caso de la energía se usa expresar matemáticamente la situación hídrica por un balance, en este caso de masa, que toma la forma siguiente:

$$P + R = E_s + \Delta H_2O_s + D_{rp} + E + T \quad (6)$$

P: Lluvia, mm

R: Riego, mm

E_s: Escurrimiento superficial, mm

ΔH₂O_s: Cambio en el agua acumulada en el suelo, mm

D_{rp}: Agua drenaje profundo, mm

E: Evaporación desde el suelo, mm

T: Transpiración, mm

Desde el punto de vista de las plantas el agua disponible y la humedad relativa son muy determinantes del potencial de agua en la atmósfera y en la planta, de la turgescencia de las células, de la apertura estomática, y de los ataques de algunas enfermedades fungosas. La apertura de los estomas regula el intercambio gaseoso de la fotosíntesis, principal proceso generador de biomasa y de la transpiración, principal proceso regulador de la temperatura de las plantas. Una planta tiene sus estomas abiertos cuando está bien alimentada con agua y estará transpirando y fotosintetizando a su máxima capacidad. Por ello es lógico que fotosíntesis y transpiración estén estrechamente relacionadas

y que la producción es máxima cuando la transpiración sea máxima. De acuerdo a la ecuación 6 para mejorar la eficiencia de uso del agua nos interesa, disminuir el escurrimiento superficial, el drenaje profundo, la evaporación del suelo, aumentar el agua acumulada en el suelo y la transpiración. Al igual que en el caso del balance de energía mucha de las técnicas tradicionales implican alteraciones del suelo y se discuten la sección 4.2.2

La transpiración se puede favorecer, aumentando el área foliar. Ello se logra aumentando la densidad de la población, dentro de un rango, en cultivos escarados.

Por último, el clima, afecta al régimen eólico el cual favorece los intercambios gaseosos (CO₂, O₂ y vapor de agua) y de energía térmica al incrementar el flujo turbulento, mucho más rápido que el laminar. Los primeros son fundamentales al aportar los materiales (C, H y O) requeridos en la fotosíntesis y en la transpiración. También son importantes para la respiración, consumidora de O₂, proceso inverso a la fotosíntesis y generador de energía para los procesos de biosíntesis, transporte y transpiración requeridos para el crecimiento y la manutención de las plantas. Los segundos, en mantener las temperaturas dentro de límites biológicamente aceptables.

El uso de cortavientos, al frenar la velocidad del viento, permite aumentar la temperatura y reducir la evapotranspiración al disminuir el flujo turbulento y aumentar el grueso de la capa límite. Igualmente, los invernaderos modifican fuertemente el régimen eólico a tal punto que incrementan fuertemente las temperaturas de día y dificultan la polinización (no hay movimiento atmósfera y se dificulta entrada de insectos polinizadores) por lo que es muchas veces imprescindible abrirlos para solucionar estos problemas o agitar las plantas (caso de tomates en invernadero, por ejemplo).

4.2.2. El suelo

Con el suelo sucede algo similar al clima, se elige el cultivo según el suelo. Sin

embargo en este caso hay más alternativas de manejo que permiten modificarlo y adecuarlo al cultivo. Así, sus propiedades físicas, su fertilidad, sus condiciones hídricas o sanitarias son generalmente modificables.

4.2.2.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de la superficie del suelo, la profundidad del suelo y su porosidad son modificables, con lo cual se consigue aumentar la capacidad de acumulación de agua del suelo, su aireación, modificar su régimen térmico y el de la atmósfera.

Ello se logra vía el subsolado, las araduras, el rastraje y otras técnicas tales como la adición de materia orgánicas (guanos, composts) o el uso de rotaciones que incluyan cultivos de arraigamiento profundo o la cero labranza, usando cubiertas de rastrojos u otras se puede reducir la evaporación de agua desde el suelo, aumentar el flujo de calor sensible y la emisión de radiación de onda larga, cultivo en franjas, terrazas, camellones, platabandas, etc. La cero labranza aumenta la capacidad de retención de agua del suelo pues mejora su estructura y porosidad capilar, igualmente mejora la aireación del suelo, disminuye la evaporación desde el suelo y aumenta la eficiencia de uso del agua (Phillips et al. 1979). Sin embargo, en suelos expuestos a exceso de humedad no es recomendable (Blevins, 1984, Cannel, et al. 1978) al conservar un mayor porcentaje de humedad por volumen de suelo, al aumentar la densidad aparente y los residuos sobre el suelo, lo que conduce a reducir la EAU por reducir la aireación del suelo.

Si consideramos la ecuación 5 podemos analizar como se puede cambiar favorablemente los términos RL y H.

El primero es función de la temperatura de la superficie del suelo ($RL = (\sigma T_s^4)$) y se puede modificar con técnicas agronómicas como el uso de cubiertas vegetales o plásticas (mulch). Las cubiertas modifican el albedo, la conductividad térmica y la capa límite del suelo según sea su color,

propiedades térmicas y su grosor. Cubierta de colores oscuros, porosas y gruesas aumentan RL al elevar la temperatura de su superficie. Este efecto es también posible al arar o rastrear el suelo lo que incorpora aire al suelo bajando su conductividad térmica y por ello incrementando la temperatura de su superficie.

La pérdida de calor por convección H es proporcional a la diferencia de temperatura entre al superficie (T_s) y el aire (T_a), al área expuesta (A) y al coeficiente de convección (h_c).

$$H = h_c A (T_s - T_a) \quad (7)$$

H es modificable también por el uso de cubiertas o labranzas del suelo que aumenten la temperatura de la superficie y el área expuesta. Parte del efecto positivo se reduce porque al aumentar la transferencia de calor al aire se aumenta la temperatura de este lo que reduce el potencial del agua en el aire lo que favorece la evaporación.

Por otra parte el escurrimiento superficial E_s , el agua acumulada en el suelo H_2O_s y el drenaje profundo Drp de la ecuación 6 son modificables con técnicas muy conocidas.

El escurrimiento superficial, E_s , se puede reducir muy eficientemente aplicando técnicas de sistema de cultivo, laboreo del suelo o de modificación de las pendientes del suelo. Además tienen las ventajas de incrementar el agua acumulada en el suelo y reducir la erosión pero pudiendo aumentar el drenaje profundo. Así, el cultivo en fajas, el cultivo en curvas de nivel, el uso de mínima labranza con aradura vertical, cero labranza, y la construcción de terrazas, son técnicas entre las que se puede elegir según sea el caso (tipo de suelo, cultivo, pendiente) para lograr este objetivo. En áreas regadas la cero labranza es mejor que las labranzas tradicionales siempre que el agua de riego no selle el suelo por traer mucho sedimento. En este caso se debe rastrear el suelo después de algunos riegos para tener una adecuada infiltración lo que termina con la cero labranza.

El agua acumulada en el suelo, H_2O s, se puede aumentar por las técnicas anteriores y por sistemas que aumenten la porosidad capilar del suelo. En este sentido rotaciones que incluyan cultivos de arraigamiento profundo o aplicaciones de materia orgánica son favorables. Métodos mecánicos, como el subsolado, pueden tener efectos favorables en algunos suelos con estratas impermeables pero en otros puede favorecer el drenaje profundo.

El drenaje profundo, Drp de la ecuación 6, solo se produce cuando la cantidad de agua que entra al suelo en un período de tiempo es mayor que la capacidad de retención más la evapotranspiración del período. Es, en muchos casos, favorable ya que elimina el exceso de agua del suelo el que, por producir un ambiente radicular sin oxígeno, es muy dañino para las plantas. El uso de drenes de diversos tipos o el paso de arados topo son técnicas agronómicas clásicas usadas para favorecerlo. También, se usa el hacer camellones o platabandas que ayudan a drenar el agua o alejan de ella a las raíces. La cero labranza por varios años también favorece la percolación del agua, ya que no se altera el suelo y se mantiene una continuidad en los macroporos del suelo, (Phillips y Young, 1973).

La evaporación directa del suelo, E de la ecuación 6, se puede reducir usando cubiertas (mulch) sobre el suelo o usando sistemas de riego como el goteo que reduce el área mojada evaporante. El manejo de la superficie del suelo con cubiertas de residuos vegetales o films plásticos, con una capa de suelo suelto reduce la evaporación del suelo al bajar la temperatura del suelo, aumentar el grueso de la capa límite frenando la difusión del vapor de agua lo que mejora la eficiencia del uso del agua. Por esta vía se ha medido reducciones entre 30 y 50% de la evaporación al usar residuos de maíz, (Sauer *et al.* 1996).

4.2.2.2. La fertilidad del suelo y otras propiedades químicas

Las condiciones nutricionales que encuentran los cultivos son dependientes del

suelo y de su manejo. Las plantas requieren, según la especie, entre 18 y 19 elementos materiales para formar los diversos compuestos orgánicos que las conforman. El C, y O_2 son provistos por la atmósfera, el N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Cu, B, Zn, Fe, Mo, Cl, Na, Si, Ni por el suelo y el H por el agua del suelo. Por ello las condiciones nutricionales determinadas por la fertilidad del suelo son de gran importancia en determinar los rendimientos y por ende la eficiencia del uso del agua. Los fertilizantes aumentan el crecimiento de las raíces mejorando la absorción de agua, aumentan la altura de las plantas y aumentan el área foliar muy temprano facilitando la fotosíntesis y la transpiración. La mayoría de los suelos son incapaces de aportar en cantidades adecuadas el N, P o K requerido para altos rendimientos. Los otros elementos son deficitarios sólo en algunos suelos. Afortunadamente el aporte natural de los suelos es modificable vía el uso de fertilizantes inorgánicos o abonos orgánicos. El uso de N de bajo precio, proveniente del amonio sintético, es un componente indispensable en la producción agrícola moderna, se consume alrededor de 80 millones de toneladas anuales de él. Se ha estimado que 2.4 millardos de personas están vivas en la actualidad gracias a este N. Por otra parte, se considera imposible reemplazar esta cantidad de N por fuentes orgánicas (Borlaug y Christopher, 2001).

Evidentemente existe una interacción muy clara entre agua y nutrientes porque estos son absorbidos, principalmente, por las raíces desde la solución del suelo donde están disueltos, ingresan a la planta y se distribuyen por ella vía el xylema. Bajo condiciones de sequía muy intensa la absorción de nutrientes puede ser nula. Ella aumenta al incrementarse la transpiración y por ello el flujo de agua en el xylema. Igualmente bajo condiciones de exceso de humedad la falta de oxígeno frena la absorción activa de nutrientes. Por otra parte, como se mencionara antes, los fertilizantes aumentan el crecimiento radicular y así mejora la capacidad de explorar el suelo y extraer agua.

La respuesta de los cultivos a la fertilización es muy alta. Así hay una enorme cantidad de resultados que muestran incrementos entre 0 y 1500%, siendo más común valores del orden del 50 al 400% (Viets, 1962, Fernández, 1995, García, 1997). Los efectos de los fertilizantes en el área foliar, en la clorofila y las enzimas, en la altura de las plantas influyen en la fotosíntesis y transpiración aumentando la biomasa y los rendimientos. Por ello el efecto neto es mejorar la eficiencia del uso del agua, (Hatfield *et al.* 2001).

Otras características químicas del suelo como la acidez, la salinidad y la alcalinidad son modificables de modo de dejarlas en rangos óptimos para el crecimiento vegetal. La acidez es corregible vía enmiendas calcáreas si es baja o aplicaciones de S si es alta. Su alcalinidad por desplazamiento del ión sodio con sales solubles de Ca, por ejemplo y su salinidad vía lavado del suelo. La relación entre la razón rendimientos actuales y potenciales con la conductividad eléctrica del extracto de saturación es lineal con el aumento de la diferencia entre la conductividad promedio y un cierto nivel crítico de salinidad (Allen *et al.* 1998). Los niveles críticos y las pendientes de la relación dependen del cultivo.

4.2.3. Las condiciones sanitarias

Las condiciones sanitarias relacionadas con maleza, enfermedades y plagas pueden constituir un fuerte efecto negativo en los rendimientos. El efecto en los rendimientos es muy variable dependiendo del clima, la presencia de inóculo y el manejo del cultivo tanto en el caso de un agricultor como de sus vecinos.

– La presencia de malezas debe ser controlada ya que ella no solo significa reducciones de rendimientos por efecto de ocupación del suelo o efectos alelopáticos sino que también por reducir la eficiencia del uso del agua al competir por ella con las plantas cultivadas. Las malezas se pueden controlar con técnicas mecánicas de labranza del suelo, herbicidas, controles biológicos y en algunos casos con rotaciones.

– Las principales enfermedades pueden ser causadas por hongos, virus o bacterias. Las fungosas aéreas se pueden controlar usando variedades resistentes, funguicidas, eliminación de plantas infectadas o control biológico. Los ataques de virus se pueden controlar usando técnicas de prevención tales como plantas libres de virus o controlando los vectores que los transmiten y eliminando malezas que los hospedan. Las enfermedades bacterianas son menos frecuentes pero hay bactericidas químicos para muchas de ellas. Las enfermedades del suelo se pueden controlar con desinfecciones del suelo (vapor, solarización, esterilizantes del suelo o con rotaciones de cultivos).

– Las plagas del suelo desinfectando el suelo (nematocidas por ejemplo, vapor o desinfectantes químicos de suelo o insecticidas) o haciendo rotaciones.

– Las plagas aéreas son principalmente insectos y por ello el uso de insecticidas es una práctica común en la mayoría de los cultivos, también hay controles biológicos para muchos insectos.

4.2.4. Las condiciones hídricas

El enorme efecto de las condiciones hídricas, déficit o exceso de agua, tanto en la germinación, crecimiento, desarrollo y rendimientos, como en las alternativas de cultivos posible de hacer en una zona, son hechos muy conocidos. Así, la estrecha relación entre producción de biomasa y transpiración ya fue descrita por de Wit, en 1978. Por otra parte hay una relación lineal entre la razón rendimientos actuales y potenciales con la razón evapotranspiración actual versus la potencial es bastante conocida (Doorembos *et al.* 1979, Allen *et al.* 1998). No obstante lo anterior, hay cultivos como los damascos y otros frutales en que los frutos (producto comercial) maduran y luego las plantas continúan verdes por varios meses, transpirando sin que ya sea posible aumentar los rendimientos. En este caso un aumento de la transpiración y de la evaporación no implica necesariamente un aumento de los rendimientos. El efecto del déficit de agua

es más importante durante la germinación, la floración y el período de formación del fruto. Es menor durante los períodos de crecimiento vegetativo y maduración, antecedentes que permiten manejar los cultivos de tal manera de reducir al máximo la falta de agua en los períodos más sensibles y lograr buenas eficiencias del uso del agua.

Por otra parte, un exceso de agua puede ser tanto o más perjudicial que la falta de ella. Ello por reducir el oxígeno en las raíces, lo que frena la respiración y la absorción activa de los nutrientes que requiere la planta.

Desde el punto de vista agronómico, las opciones clásicas para mejorar la eficiencia del uso del agua son el reducir las pérdidas por evaporación, aumentar la capacidad de retención de humedad del suelo, mejorar la captación de aguas lluvias o evitar que el cultivo sufra períodos con el suelo saturado. Las técnicas específicas para mejorar estas condiciones y que se aplican al suelo se trataron en la sección 4.2.2.

4.3. Hacer una buena gestión

Hacer una buena gestión significa aplicar las tecnologías en el momento oportuno, con la intensidad adecuada y sin deteriorar el medio ambiente. Además, implica cuidar los aspectos económicos, aplicar el enfoque de sistemas y mantenerse bien informado. En el caso de una buena gestión para mejorar la EAUA debemos aplicar el enfoque sistémico, esto es, cuidar la aplicación de cada una de las técnicas agronómicas que estemos usando y no sólo de aquella que consideremos la más importante. Además, el rápido avance, tanto de las ciencias y tecnologías agronómicas o de riego como de las comunicaciones es muy determinante. El mantenerse al día para aprovechar lo más pronto posible los beneficios de estos progresos. En este sentido el uso de Internet será de gran impacto en la difusión de los avances de las ciencias y tecnologías agronómicas produciendo una aceleración tanto en las primeras, como en la adopción de las segundas.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Es siempre difícil hablar del futuro, ya que por naturaleza es impredecible. Sin embargo, hay desarrollos y consideraciones que sin duda tendrán gran influencia en los próximos tiempos. Entre estos podemos mencionar la influencia de las biotecnologías, la agricultura de precisión, la quemigación, las nanotecnologías y las consideraciones ambientales.

5.1. El mejoramiento genético y el uso de biotecnología

Aún cuando las llamadas biotecnologías pueden abarcar campos más amplios que sólo el mejoramiento genético, el de los biosensores o test de ELISA por ejemplo, éste es probablemente, el agrónomicamente, más importante. En palabras de Norman E. Borlaug y Christopher Dowsell, 2001, "... los posibles beneficios que se producirán por efecto de la biotecnología y mejoramiento genético son variedades con mayor tolerancia a la sequía, al exceso de agua, calor y frío, rasgos importantes vistas las actuales predicciones de cambio climático. Además, muchos otros beneficios, orientados a los consumidores, tales como mayor valor nutricional y otras características relacionadas con la salud, se concretarán probablemente en los próximos 10 a 20 años. A pesar de la formidable oposición en ciertos círculos, a los cultivos transgénicos, la adopción por los agricultores de las nuevas variedades ha sido uno de los casos más rápidos de difusión tecnológica en la historia de la agricultura". Entre 1996 y 1999, el área plantada comercialmente con cultivos transgénicos a aumentado de 1,7 a 39,9 millones ha (James, 1999) y ella ha alcanzado a 67 millones de ha en el año 2003-2004, según datos de FAO.

Desde el punto de vista del mejoramiento de plantas la gran ventaja que ofrece la biotecnología es que amplía la base de genes a la que se puede acceder. Así, el mejoramiento clásico sólo puede acceder, normalmente, a genes de plantas de la misma especie y en pocos casos hacer cru-

zas exitosas entre especies (triticales, por ejemplo). Las técnicas biotecnológicas amplían enormemente los genes posibles de mover de un organismo a otro, ya que prácticamente todos los genes de todas las especies vivientes pueden ser transferidos. En principio, si se conoce los mecanismos genéticos y moleculares que sustentan los procesos fisiológicos que se desea modificar y se conoce la especie que tiene el o los genes buscados, se conoce las técnicas para generar organismos transgénicos que posean el o los genes deseados.

Las formas, colores y tamaños que toman los órganos de los vegetales desde los trópicos húmedos a las frías tundras, pasando por los desiertos y otras zonas intermedias, se hace comprensible según Gates, si se basa en que han evolucionado buscando los equilibrios térmicos (Colinvaux, 1982). En estos juega un rol protagónico el agua disponible. Así, bajo condiciones de alta temperaturas y lluvias abundantes (trópicos), por ejemplo las plantas son perennes, tienen hojas abundantes, verde oscuro y grandes, ya que así pueden transpirar abundantemente para refrescarse, sin temor a limitaciones hídricas por la alta disponibilidad de agua. Bajo condiciones áridas y de altas temperaturas en el día, las plantas son cilíndricas, de colores claros que reflejan la radiación solar, casi sin hojas o de formas de agujas. Todo ello para reducir la superficie expuesta al sol, bajar la carga calórica producida por la radiación solar incidente, y reducir la necesidad de agua. Esta información acumulada y "natural" entrega soluciones y genes potencialmente útiles para el mejoramiento genético de la eficiencia de uso del agua.

Para generar plantas más eficientes en el uso del agua usando la técnicas biotecnológicas se puede pensar en:

- modificar el sistema fotosintético de los cultivos C_3 incorporando a ellos el sistema de las plantas C_4 , más eficientes en fijar CO_2 , o el sistema de las plantas CAM, que abren los estomas de noche fijando CO_2 y fotosintetizando en el día. La eficiencia de uso del agua, EUA, es normalmente 3 a 4 veces mayor en plantas CAM

que en otros tipos de planta en planta y las C_4 (2.4-3.9) mayores que en plantas C_3 (0.9-2.6), al mismo tiempo la discriminación isotópica, Δ^{13} ($\Delta^{13} = (R_{aire}/R_{planta}) * 1000$, $R = C^{13}O_2/C^{12}O_2$), es mayor en la enzima Rubisco que en la PEP carboxilasa lo que determina una menor eficiencia en el uso del agua de planta C_3 (Taiz y Zeigers, 1991, 1998, Monneveux y Belhassen, 1996). Esta posibilidad no es fácil de lograr debido a que implica mover muchos genes, ya que estos sistemas no sólo significan cambios metabólicos sino también anatómicos. Desarrollos recientes en esta dirección han sido informados en Japón donde se habría mejorado la fotosíntesis de plantas de arroz introduciendo enzimas de plantas C_4 (Juan Izquierdo, FAO, comunicación personal).

- Introducir los genes necesarios para realizar los cambios indicados en la sección 4.1

- Mejorar el sistema radicular. Un sistema radicular más profundo puede mejorar la extracción de agua y elementos nutritivos desde capas de suelo profundas, un sistema con raíces superficiales muy ramificadas puede ser mejor para reducir la evaporación desde el suelo, otros sistemas pueden ser necesarios cuando se requiera extraer agua a una tasa baja (Monneveux y Belhassen, 1996).

Sin embargo, no debemos olvidar que los avances que podamos hacer en los laboratorios no son suficientes para asegurar su éxito en el campo. La experiencia en este sentido es amplia. Lo claro es que las respuestas en laboratorio o invernaderos no se repiten necesariamente, en el campo. La razón de este hecho está en la aparición de propiedades emergentes debido a las interacciones de elementos que no están en el laboratorio o invernadero, pero sí en el campo. Cada nivel tiene propiedades que les son propias y que no quedan definidas por los otros niveles (Allen *et al.* 1984, Giordan, 1996). La gran contribución del laboratorio o del invernadero es que si las cosas no funcionan a este nivel tampoco funcionarían en el campo. Debemos enfatizar la idea que toda buena investigación agropecuaria debe mantener un equi-

librio entre el trabajo en laboratorios, invernaderos, campos experimentales y ensayos en campos de agricultores. Además, las consideraciones ambientales y temores por los efectos perniciosos, muchas veces con poco fundamento, que eventualmente puedan causar los organismos transgénicos, puede limitar seriamente los avances que pudiera hacerse por esta vía.

5.2. La agricultura de precisión

Un área de desarrollo nueva de gran interés mundial es la de la llamada Agricultura de Precisión, o agricultura asistida por computadoras o agricultura sitio específica. Ella combina sistemas de posicionamiento geográfico (GPS), con sistemas de información geográficos (SIG), computadoras personales, monitores de rendimientos, maquinaria de alta precisión y sensores ad hoc. Con ello es posible un manejo adecuado de la variabilidad espacial de los terrenos y ajustar fácilmente la tecnología aplicada a cada sector de un potrero. En la actualidad las tecnologías, entre ellas el riego, se aplican en forma pareja sin tomar en cuenta la variabilidad espacial, lo que sobredosifica o subdosifica sectores, baja rendimientos, aumenta los costos y la contaminación. Dada las presiones por reducir costos y la contaminación, esta tecnología aparece como una solución digna de estudiarse y será una herramienta de gran utilidad para lograr una agricultura sustentable. Los avances y estudios hechos en diversos países indican que esta nueva tecnología es también económicamente conveniente (Haapala, 1995). Estudios hechos por INIA en Quilimapu indican que sólo en fertilizantes es posible ahorrar 12% de N y 24% de P usando esta tecnología (Ortega, comunicación personal). Pero también se puede producir ahorros en uso de otros agroquímicos y mejorar la eficiencia agronómica del uso del agua.

La agricultura de precisión, cuya médula es el manejo de la variabilidad espacial que normalmente se produce en el suelo, se basa en: obtener información detallada y precisa del suelo, interpretar

esa información para poder tomar decisiones y cambiar las dosis de los insumos (fertilizantes, pesticidas, agua, variedad) para poder implementar las decisiones. Un agricultor armado con mapas de suelos, niveles de N en hojas, malezas, o enfermedades y de rendimientos de un potrero puede tomar decisiones que le produzcan ahorro de dinero, disminuya la contaminación y le mejore los rendimientos. La razón de una menor producción en un sector de un potrero puede ser la acumulación excesiva de agua, o la falta de ella en otro, por ello se debe desarrollar las técnicas que permitan un manejo específico de cada tipo de suelo. También puede servir para decidir que áreas no cultivar. En Europa esta técnica esta siendo liderada por Inglaterra, Dinamarca y Alemania. En EEUU, el USDA en su estación de Beltsville, Maryland y la Universidad de Colorado en Fort Collins son lugares que están desarrollando esta tecnología. En Chile, INIA y La Universidad Católica de Santiago han empezado a estudiar la aplicación de esta tecnología (Ortega y otros, 1999).

Es muy probable que el análisis de imágenes fotográficas o digitales, aéreas o satelitales de alta resolución, y los SIG, serán estratégicos para generar la información básica que requiere esta tecnología. Estas poderosas herramientas se han hecho más accesibles, ya que la adquisición de imágenes, su digitalización y análisis se ha facilitado enormemente. Las pueden ser fotografías aéreas o satelitales en film o digitales. El análisis de imágenes permite diferenciar colores, formas, texturas, temperaturas de superficie, etc. y por esta vía hacer diagnósticos de problemas, clasificar sectores, medir superficies y numerosas otras estimaciones. Se puede aplicar en numerosos ámbitos de interés agropecuario: los recursos naturales (suelos, vegetación, aguas, contaminación, etc.), la calidad y selección de productos, de la patología vegetal, de la nutrición mineral de plantas, de la fisiología vegetal, del riego, etc. Además, la nueva generación de satélites con imágenes multi-espectrales de resoluciones de 1 a 4 m e

imágenes hiperespectrales tiene el potencial para poder desarrollar sistemas expertos para monitorear y manejar el riego de los cultivos con alta precisión. El análisis de imágenes es la única herramienta conocida que puede entregar información medida de la mayoría de los factores agronómicos (suelos, parámetros biofísicos de las plantas, crecimiento del cultivo, malezas, presencia de enfermedades, situación hídrica, etc.) determinantes de la producción, simultáneamente (Novoa y Herrera, 2002, Villagrán, 2000, Villagrán, 2003) y tiene el potencial para llegar a constituir parte esencial de un sistema de retroalimentación que permita seguir con una adecuada frecuencia el resultado de las tecnologías usadas y corregir sus eventuales fallas.

5.3. Quemigación

Quemigación es el uso de agroquímicos aplicados vía el agua de riego. Todos conocemos o hemos oído hablar de la fertirrigación pero conocemos mucho menos de la aplicación de herbicidas, funguicidas, nematocidas, hormonas o insecticidas por esta vía. En EEUU y Europa el tema se está estudiando desde hace más de 10 años. Estimo que es un área en que los sistemas de distribución de agua que permiten los sistemas de riego, presurizado y eventualmente los otros, son vitales y por lo tanto podríamos hablar de un tipo de agricultura cuyo corazón es el sistema de riego. El hecho fundamental es que el agua de riego llega a todas las plantas o a todos los puntos importantes para el manejo agronómico y al mismo tiempo es un vehículo que permite el transporte de muchos agroquímicos. Si la quemigación se llega a dominar tenemos una base segura para la automatización y para una agricultura de precisión vía riego que sin duda mejorará la eficiencia del uso del agua.

5.4. Sensores y biosensores

Muchos de los problemas agronómicos requieren de índices y mediciones de compuestos o elementos químicos en el suelo,

las aguas y los vegetales o animales. Esto se hace en la actualidad por la vía de análisis de laboratorio lo que significa personal, equipos y tiempos de respuesta mas bien altos. Ello podría reemplazarse en una buena medida con sensores específicos tipo electrodos, kits de tests inmunológicos o sensores que combinan reacciones bioquímicas con sistemas electrónicos de rápida respuesta. Los avances en otros campos tales como las maquinarias, la tele-detección, las computadoras, etc. requieren de este tipo de información en tiempos muy cortos. Además son necesarios para constituir circuitos de retroalimentación que permitan ajustar el riego o aplicaciones de agroquímicos a la dinámica de los agroecosistemas. Por ello, todo avance en el desarrollo de estos sensores será de gran utilidad futura.

5.5. Mecanización de alta tecnología

El acoplamiento, a maquinarias agrícolas, de sistemas de posicionamiento global, GPS, de sistemas computacionales y de sistemas que permiten un control muy fácil de las aplicaciones de agroquímicos y otros insumos (plásticos) a terrenos agrícolas, son avances fundamentales que afectarán sin dudas la agricultura del mañana. No podemos ignorar estos avances y debemos mantenernos atentos a ellos ya que sin duda pondrán en nuestras manos herramientas que afectarán nuestra capacidad para mejorar la eficiencia del uso del agua.

5.6. Automatización

Una necesidad creciente de la producción agropecuaria es la automatización de las actividades a su mayor grado posible. Ello se deriva de los crecientes costos de la mano de obra, de la necesidad de mejorar el momento de la aplicación de las técnicas de producción, de aumentar las frecuencias de las aplicaciones de algunos agroquímicos, de la demanda de aumentar la calidad de vida de los productores. En este aspecto los sistemas de riego presurizados ofrecen una alta posibilidad

de automatización. Por otro lado, el tipo de máquinas descrito en el párrafo anterior son también posibles de conectar remotamente a centrales de control y así automatizar su trabajo.

5.7. Las nanotecnologías

Una de las áreas de mayor desarrollo y con un apoyo financiero que se ha cuadruplicado desde 1997 a la fecha, en USA, llegando a los 519 millones de dólares en el 2001 es el de las nanotecnologías. Cuando se habla de nanotecnologías se entiende el estudio y la manufactura de dispositivos del tamaño de una molécula, aunque las estructuras pueden ser 1000 veces un nanometro (10^{-9} m), (Scientific American, September 2001, Stix, 2001). Las estructuras nanométricas parecen tener un potencial revolucionario en muchos ámbitos. En nuestro caso las aplicaciones ya en estudio en medicina, tales como: sensores en miniatura, en su interacción con la biología molecular para detectar secuencia genéticas usando pequeñas especies de tablas (cantilevers) cubiertas de DNA con una secuencia conocida, la que se apareará a su correspondiente complemento y doblará la viga o usando minúsculos marcadores magnéticos en anticuerpos para lograr una señal magnética que revele la presencia de una enfermedad (Alivisatos, 2001). Ello producirá avances importantes en el mejoramiento genético de plantas y en desarrollar sistemas de medición de campo que mejorarán la precisión del diagnóstico de problemas, lo que permitirá lograr un manejo, más y mejor informado, de los cultivos con mejores rendimientos. Estas promesas no llegarán mañana, pero si lo harán en el largo plazo.

CONCLUSIONES

1. La mejora de la eficiencia agronómica del uso del agua implica, por un lado, conocer y aplicar prácticamente todas las técnicas agronómicas conocidas pertinentes y por otro, las técnicas de manejo del agua de riego.

2. Parece necesario hacer una nueva

definición de la eficiencia de uso del agua en agronomía. Es muy conveniente que ella permita diferenciar el efecto del cultivo, del clima, del suelo y situaciones de riego y de secano.

3. El mejoramiento genético tradicional aplicado a este campo ofrece grandes potenciales para mejorar la eficiencia agronómica del uso del agua.

4. Las técnicas agronómicas de, labranza del suelo, uso de fertilizantes, control de malezas plagas y enfermedades, el uso de hormonas, podas etc. combinadas pueden lograr mejoras espectaculares en el uso del agua.

5. Los nuevos tipos de agricultura, como la de precisión y tecnologías tales como el análisis digital de imágenes, los sistemas de información geográficos o los biosensores, sin duda contribuirán a mejorar la eficiencia de uso del agua en el futuro.

6. El uso de la biotecnología y la transgenia, en el mejoramiento genético, es de gran potencial para lograr mejoras en la eficiencia agronómica del uso del agua.

7. En el largo plazo, las biotecnologías y las nanotecnologías aplicadas a la agronomía y al manejo del agua contribuirán sin duda a mejorar la eficiencia agronómica del uso del agua.

LITERATURA CITADA

- ALIVISATOS, A. P. 2001. Less is more in Medicine. *Scientific American*. 285(3): 58-63.
- ALLEN G., R., PEREIRA, LUIS S., RAES, D. and SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. *FAO Irrigation and Drainage paper N° 56*. 301 p.
- ALLEN, T.F. H., O'NEILL, R.V. and HOESKSTRA, T.W. 1984. Interlevel relations in ecological research and management: some working principles from hierarchy theory. *USDA-FS, General Tech. Rep. RM-110*.
- AUSTIN, R. B., BINGHAM, J., BLACKWELL, D., EVANS L.T. FORD, M. A., MORGAN, C.L and TAYLOR, M. 1980. Genetic improvement in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci., Camb.* 94:675-689.
- BLEVINS, R.L. 1984. Soil adaptability for no-

- tillage. In: No-tillage agriculture: principles and practices. Phillips, R.E. and Phillips, S.H. eds. pp 11-41.
- BOLTON, F.E. 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through soil and crop management. Pp 231-247. In: Soil water and nitrogen in Mediterranean-type environments, Monteith, J. and Webb, C. Eds. Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk. Publishers. The Hague, The Netherlands. 338 p.
- BORLAUG, N. E. and DOWSWELL, C. 2001. Seeds of Opportunity Conference, School of Oriental and African Studies, London, United Kingdom, May 31-June 1, 2001
- BOS, M.G. and NUGTEREN, J. 1990. On irrigation efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, The Netherlands. 117 p.
- BROWN, ERNESTO. 1996. Disponibilidad de recursos hídricos en Chile en una perspectiva de largo plazo. pp 191-213. En: Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno, Osvaldo Sunkel (editor), Universidad de Chile, Santiago, Chile. 380 p.
- BYERLEE, D. and MOYA, P. 1993. Impacts of international Wheat Breeding Research in the Developing World 1966-90. México, D.F.: CIMMYT.
- CANNEL, R.Q, DAVIES, D.B. MACKNEY, D. and PIDGEON, J.D. 1978. The suitability of soils for sequential direct drilling of combine-harvested crops in Britain; a provisional classification. *Outlook on Agriculture*, 9(6): 306-31
- COLINVAUX, P. 1982. *Invitation à la science de l'écologie*. Editions du Seuil. Paris. France. 250 p.
- CONAMA, 2001. Manual de buenas prácticas para evitar la contaminación difusa de aguas. 180 p. Elaborado por el Centro Regional de Investigaciones Agropecuarias, La Platina. Santiago de Chile.
- COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO (CNR). 2005. Diagnóstico del Riego y Drenaje por Regiones. Santiago Chile.
http://www.chileriesgo.cl/opensite/frm_opensite.asp?glb_cod_sistema=20020129172812&glb_parametro=eficiencias%20de%20riego&glb_buscar=S.
- COOPER, P. J. M., GREGORY, P. J., TULLY, D. and HARRIS, H.C. 1991. Crop water use efficiency in West Asia and North Africa. In: Improvement and management of winter cereal under temperature, drought and salinity stresses. pp 397-420. E. Acevedo, E. Fereres, C. Giménez and J.P. Srivastava, Eds.. Ministerio de Agricultura, INIA, Madrid, España 485 p.
- DE WIT, C.T. 1958. Transpiration and crop yields. *Verls. Landbouwk. Onderz. (Agric. Res. Rep.)* 64. 6, Pudoc, Wageningen.
- DÍAZ, R. y ABADIE, T. 1997. Rendimiento potencial y brechas tecnológicas de trigo en el Uruguay y en el Cono Sur. pp 1-20. En: Explorando altos rendimientos de trigo, Kohli, M.M. y Martino L. Eds. CIMMYT, INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay. 338 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 1999. Política Nacional de Recursos Hídricos. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile. 58 p.
- DOOREMBOOS, J. and KASSAM, A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 33. 193 p. Rome, Italy
- FAO. The state of food and agriculture. 2003-2004. www.fao.org/es/esa/pdf/sofa_flyer_04_en.pdf
- FERNÁNDEZ, M. 1995. Fertilización nitrogenada y su eficiencia en maíz de grano. *Simiente*. 65:122-132
- GARCÍA L., A. 1997. Fertilización con N y potencial de rendimiento en trigo. pp 207-248 En: Explorando altos rendimientos de trigo, Kohli, M.M. y Martino L. Eds. CIMMYT, INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay. 338 p.
- GATES, D.M. 1965. *Energy exchange in the biosphere*. Harper & Row, New York, Evanston y London. And John Weatherhill, Inc., Tokyo. 151 p.
- GIORDAN, A. 1996. Voici venue l'ère de la physiologie. *La Recherche*. Février 1995. pp 81-86.
- HAAPALA, H.E.S. 1995. Position Dependent Control (PDC) of plant production. *Agricultural Science in Finland*. 4(3): 239-350.
- HATFIELD, J.L; SAUER, T.J and PRUEGER, J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. A review. *Agron. Journal* 93(2): 271-280
- HEWSTONE, M.C. 1997. Los cambios genéticos y agronómicos que incrementaron los

- rendimientos del trigo en Chile. pp 21-57. En: Explorando altos rendimientos de trigo, Kohli, M.M. y Martino L. Eds. CIMMYT, INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay. 338 p.
- HOWELL, T.A. 2001 Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93:281-289.
- JAMES, CLIVE. 1999. Global Review of Commercialized Transgenic Crops. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Brief No.12 Preview. ISAAA: Ithaca, NY.
- MORGAN, J.M. 1991. Selection for osmoregulation to improve yield in cereals. pp.167-175. In: Improvement and management of winter cereal under temperature, drought and salinity stresses. pp 397-420. E. Acevedo, E. Fereres, C. Giménez and J.P. Srivastava, Eds.. Ministerio de Agricultura, INIA, Madrid, España 485 p.
- MONNEVEUX, P. and BELHASSEN, E. 1997. The diversity of drought adaptation in the wide. pp 7 -14. In: Drought tolerance in higher plants. Genetical, physiological and molecular biological analysis. Belhassen, E., ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 104 p
- MONTHEITH, J.L. 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold. 241 p.
- NOVOA S.A. RAFAEL y GUIDO HERRERA, M. 2002. Uso del análisis de imágenes en el diagnóstico del "Virus de la tristeza de los cítricos" en limoneros, Valle de Malla-rauco, Chile. *Agric. Tec.* 60 (4): 606-615.
- ORTEGA, R. y OTROS. 1999. Agricultura de Precisión. Introducción al manejo sitio específico. Serie Quilamapu 129. 146 p.
- PHILLIPS, R.E. 1979. Soil Moisture. pp 23-42. In: No-Tillage research: Research reports and reviews. Phillips, R.E, Thomas, G.W., and Blevins, R.L. eds. 151 p. University of Kentucky, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, Lexington.
- PHILLIPS, R.E y YOUNG, H. M. Jr. 1973. No-Tillage farming. 224 p. Reiman Associates, Milwaukee, Wisconsin.
- RODRIGO L, J.; HERNÁNDEZ A., J.M.; PÉREZ R., A. y GONZÁLEZ, J.F. 1992 Riego localizado. 405 p. IRYDA Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- SANTIBÁÑEZ, F.; ACEVEDO, E.; PERALTA, M.; DE LA FUENTE, A.; ARIAS, J.; MANTEROLA, H.; CHATEAUNEUF, R.; DE LA MAZA, C.L. y RODRÍGUEZ, M. 1996. Escenario de crecimiento del sector agrario y posibles cambios de uso del suelo. pp 215-241. En: Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno, Osvaldo Sunkel (editor), Universidad de Chile, Santiago, Chile. 380 p.
- SAUER, T.J., HATFIELD, J.L. and PRUEGER, J.H. 1996. Corn residue age and placement effects on evaporation and soil thermal regime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1558-1564.
- SINCLAIR, T.R. and DE WIT, C.T. 1975. Comparative analysis of photosynthate and nitrogen requirements in the production of seed by various crops. *Science* 89: 565-567.
- STIX, G. 2001. Little big science. *Scientific American* 285(3): 26-31
- TAIZ, L. and ZEIGER, E. 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Co. California. 565 p. 1998. *Plant Physiology*. 2nd edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. 792 p.
- VAN KEULEN, H. 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions.. *Pudoc. Wageningen*. 176 p.
- VIETS, F.G. Fertilizers and the efficient use of water. *Adv. Agron.* 14:223-264
- VILLAGRAN, N. A. 2000 Análisis de imágenes para la detección de niveles de nitrógeno en maíz. Tesis de pregrado. Ingeniero Agrónomo. Santiago de Chile. Universidad Iberoamericana de Ciencia y Tecnología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía. 96 p.
- VILLAGRAN, R. A. 2003. Exploración del uso de imágenes de alta resolución para el diagnóstico de problemas agronómicos en vides (*Vitis vinifera* L.), Variedad Chardonnay. Tesis de pregrado. Ingeniero Agrónomo. Santiago de Chile. Universidad Iberoamericana de Ciencia y Tecnología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía. 121 p.
- WANG, Z., ZERIHUM, D. and FEYEN, J. 1996. General irrigation efficiency for field water management. *Agric. Water Manage.* 30: 123-132.

LESQUERELLA FENDLERI (GRAY) WATS: EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS EN FUNCIÓN DE DOS FECHAS DE SIEMBRA Y DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Lesquerella fendleri (Gray) Wats.: Yield evaluation at two planting dates and two nitrogen fertilizers level

XIMENA LÓPEZ C.¹, ANNELIE ZBINDEN V.¹ Y HAYDEE CASTILLO G.¹

¹Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas Departamento de Producción Agrícola
e-mail xlopez@uchile.cl

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar diferencias en el desarrollo y rendimiento de *Lesquerella fendleri* (Gray) Wats, en dos fechas de siembra y dos niveles de fertilización nitrogenada, durante la temporada 1999/2000.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con estructura factorial de 2 x 2, siendo el primer factor las fechas de siembra: 19 de marzo (F1) y 26 de abril (F2) de 1999; y el segundo, las dosis de fertilización nitrogenada: 50 (D1) y 78 kg N ha⁻¹ (D2). Cada tratamiento se realizó con 4 repeticiones.

La diferencia más relevante se observó al analizar la duración del período vegetativo; las plantas sembradas en marzo alcanzaron el estado de botón floral 91 días después de la siembra, y aquellas sembradas en abril lo hicieron 143 días después.

El único componente de rendimiento que mostró diferencia significativa entre las fechas de siembra fue el número de frutos por planta, el cual originó la gran diferencia de rendimiento. Los rendimientos obtenidos fueron: 499 y 505 kg ha⁻¹ en los tratamientos sembrados en marzo y 1.232 y 1.227 kg ha⁻¹ en los tratamientos sembrados en abril, con 50 y 78 kg N ha⁻¹, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: *Lesquerella fendleri*, nuevo cultivo, nitrógeno y fechas de siembra.

ABSTRACT

The objective of this research was to find out differences in the development and yield of *Lesquerella fendleri* (Gray) Wats, sown on two dates at two nitrogen fertilizer levels during the 1999/2000 season.

A completely randomized experimental design with a 2 x 2 factorial structure was used. The first factor was sowing date at two levels: March 19 (F1) and April 26, 1999 (F2); the second factor, the nitrogen fertilization: D1= 50 and D2= 78 kg N ha⁻¹. The trial had four replicates.

Plants sown in March reached the flower bud stage 91 days after planting, while those sown in April reached it after 143 days.

The yields were 499 and 505 kg ha⁻¹ for the treatments sown in March and 1.232 and 1.227 kg ha⁻¹ for those sown in April with 50 and 78 kg N ha⁻¹, respectively, in both dates. The yield differences were mainly due to the number of fruit per plant.

KEY WORDS: *Lesquerella fendleri*, new crop, nitrogen, sowing date.

INTRODUCCIÓN

Lesquerella fendleri (Gray) Wats., de la familia Brassicaceae, es una especie nativa del sudoeste de EE.UU. En los últimos años su cultivo ha despertado gran interés debido a que sus semillas poseen un alto contenido de ácidos grasos hidroxilados, cuyo uso industrial presenta una gran diversidad, como fabricación de resinas, nylon, gomas, plásticos, aceites y grasas lubricantes, pinturas, anticorrosivos, revestimientos y cosméticos. (Kleiman, 1990; Dierig *et al.*, 1993; Dierig *et al.*, 1996).

En EE.UU. estos ácidos grasos son considerados material estratégico, razón por la cual se le ha dado una gran importancia a la investigación de este cultivo (Roseberg, 1996). Actualmente, la única fuente de ácidos grasos hidroxilados es el aceite de ricino (*Ricinus communis* L.). EE.UU. importa principalmente desde India y Brasil, más de 30 mil toneladas anuales de aceite de ricino para la fabricación de diversos productos (Brown y Arquette, 1994).

L. fendleri es una especie perenne, de crecimiento indeterminado, que debe cultivarse como anual de invierno (Dierig y Thompson, 1993; Brown y Arquette, 1994; Dierig, 1995; Dierig *et al.*, 1996). En forma nativa crece entre los 600 y 1800 m.s.n.m., con precipitaciones anuales que fluctúan entre 250 y 400 mm (Duke, 1983; Dierig y Thompson, 1993). La temperatura media anual de los lugares de origen es de 13 - 15°C, sin embargo, la especie tolera bajas temperaturas (Duke, 1983; Roseberg, 1996). En las zonas de adaptación natural (hemisferio norte), temperaturas de -6 a 0°C son comunes durante enero (Duke, 1983; Roseberg, 1996). El hábitat nativo y el ciclo de vida de esta especie sugieren que podría crecer bien en localidades semiáridas como el sur de Oregon, EE.UU. (Roseberg, 1996). Las áreas de producción probables pueden incluir el Sudoeste y el Centro Sur de EE.UU., Australia Occidental, Norte de Argentina, Centro Sur de Chile y África del Norte (Roseberg, 1996).

Se ha comenzado a evaluar la posibilidad de introducir este cultivo a Chile, de-

bido a que se presenta como una alternativa de cultivo invernal para la zona Centro-Sur, constituyendo una oportunidad de exportar un producto manufacturado. Por esta razón se ha considerado de interés, como una primera etapa, evaluar fechas de siembra y niveles de fertilización nitrogenada.

MATERIAL Y MÉTODO

El ensayo se realizó durante la temporada 1999/2000 en la Estación Agronómica Antumapu de la Universidad de Chile, localizada cerca de Santiago (33°40' lat. Sur; y 78°38' long. Oeste, 620 m.s.n.m.).

Las semillas utilizadas corresponden a la segunda generación de un lote de *L. fendleri*, enviado por el Dr. David Dierig, del Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory en 1996.

El suelo del sector destinado al ensayo corresponde a la serie Maipo (franca fina, mixta, térmica, Fluventic Haploxeroll), de origen aluvial, moderadamente profundo, con 1 a 3% de pendiente. La profundidad promedio del suelo es de 80 cm. Presenta textura franca en superficie y franco arcillosa en profundidad; de permeabilidad moderadamente lenta y escurrimiento superficial moderadamente lento y buen drenaje (CIREN, 1996).

Análisis previos de fertilidad del suelo realizados en el sector destinado al ensayo, por el Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile en 1999, evidenciaron una baja disponibilidad de fósforo (P) y alta de potasio (K) (3 y 167 ppm respectivamente). El historial de manejo del sector indica que el suministro de nitrógeno del suelo es relativamente alto.

La preparación de suelo incluyó aradura, rastraje y confección de camas altas para impedir el anegamiento durante el invierno. La siembra se realizó en forma manual, en hileras distanciadas a 0,15 m a chorro continuo y a una profundidad de 5 mm. Se utilizó una dosis de 20 kg ha⁻¹ para asegurar una población de plantas adecuada para el ensayo, posteriormente el cultivo fue raleado, hasta alcanzar una

población de 1,3 millones de plantas ha^{-1} . Se fertilizó cada parcela con 46 unidades de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ como superfosfato triple, localizado pre siembra.

El ensayo se regó con cintas Ro-Drip, con un gasto promedio de $2 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ lineal. La frecuencia de riego estuvo de acuerdo a las necesidades del cultivo. El total de agua aplicada en la temporada fue de 708,2 mm para la siembra de marzo y 692 mm para la siembra de abril. El control de malezas se realizó en forma manual, manteniendo las parcelas libres de malezas durante todo el período del cultivo.

La unidad experimental correspondió a una parcela de 3 m^2 ($1 \times 3 \text{ m}$), en un diseño completamente al azar con estructura factorial 2×2 , siendo el primer factor las fechas de siembra: 19 de marzo (F1) y 26 de abril (F2) de 1999, y el segundo las dosis de fertilización nitrogenada empleadas: 50 (D1) y 78 kg N ha^{-1} (D2), aplicado en forma de salitre sódico, parcializado en dos dosis: 56% al momento de la siembra y el 44% restante en el estado de botón floral. El ensayo constó de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones. El efecto de los factores se estudió mediante ANDEVA.

Evaluaciones

Para evaluar el desarrollo del cultivo se realizaron observaciones periódicas para determinar la ocurrencia de los estados fenológicos (inicio de ramificación, botón floral, floración, inicio de formación de silículas y senescencia de silículas). Mediante el método de Arnold (1959) se determinó la temperatura umbral del cultivo, utilizando umbrales entre 3 y $8 \text{ }^\circ\text{C}$, ésta correspondió a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ y con ella se calculó la sumatoria térmica necesaria para alcanzar cada estado fenológico. El crecimiento de las plantas fue evaluado mediante materia seca total (MST) (en función de los valores obtenidos durante el período de crecimiento) y crecimiento relativo (en función de la acumulación relativa de días grado). El rendimiento se evaluó considerando los siguientes componentes: número de frutos por planta, número de semillas por

fruto, peso de 1000 semillas, humedad de las semillas, índice de cosecha ($\text{IC} = \text{MS semillas (gr.)} / \text{MS parte aérea (gr.)}$), donde, $\text{MS parte aérea} = \text{MST} / 1,15$), kilogramos de semilla por hectárea y contenido porcentual de aceite de las semillas. Éste se determinó mediante el método de extracción con solventes utilizando un equipo extractor Soxhlet (Mehlenbacher, 1970). Se determinó la extracción de nitrógeno (N) realizada por el cultivo utilizando el contenido de N de la MST al momento de la cosecha.

$$\text{Extracción N (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Nitrógeno de MST (\%)} \times \text{peso promedio MST (kg ha}^{-1}\text{)}}{100}$$

donde, $\text{peso promedio MST kg ha}^{-1} = \text{peso MST promedio (kg planta)} \times \text{N}^\circ \text{ plantas ha}^{-1}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fecha de ocurrencia de los distintos estados fenológicos se relacionó con el número de días transcurridos entre cada estado, temperatura media y velocidad de desarrollo (Cuadro 1), donde la velocidad de desarrollo (V) corresponde al inverso del tiempo transcurrido entre dos eventos fenológicos ($1/T$) (Castillo y Santibañez, 1987).

Debido a la influencia de las temperaturas en cada etapa fenológica, los tratamientos correspondientes a la primera fecha de siembra registraron una mayor velocidad de desarrollo desde la siembra hasta el estado de botón floral (Cuadro 1). Entre los estados de botón floral y senescencia de silículas, la velocidad fue menor. El tiempo que transcurrió entre cada fase de desarrollo estuvo influenciado directamente por la temperatura del período, esto se traduce en un aumento o disminución de la velocidad de desarrollo del cultivo conforme lo hacen las temperaturas. Al relacionar los registros de temperatura con la acumulación de días grado, se puede observar que la suma térmica necesaria para la ocurrencia de cada estado fenológico se satisface más rápidamente durante

CUADRO 1: Velocidad de desarrollo del cultivo de *Lesquerella fendleri* y acumulación de días grado para diferentes intervalos de desarrollo.TABLE 1: Development rate of *Lesquerella fendleri* and degree-days accumulation for selected developmental intervals.

	Temperatura °C media		Número de días		Velocidad de desarrollo ¹		Sumatoria de días grado base 5°C Intervalos Acumulado			
	F1 ³	F2 ⁴	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Intervalos ²										
S - R	14,8	10,3	49	91	0,020	0,010	489,9	485,9	489,9	485,9
R - B	11,0	9,8	42	52	0,024	0,019	247,7	250,5	737,6	736,4
B - F	9,1	12,9	56	28	0,018	0,036	225,7	227,4	963,3	963,8
F - FS	10,3	15,9	73	45	0,014	0,022	485,0	484,4	1448,3	1448,2
FS - SS	15,4	18,5	49	42	0,020	0,024	564,8	569,3	2013,1	2017,5

¹ Velocidad de desarrollo = 1/número de días.

² S: siembra; R: ramificación; B: botón floral; F: floración; FS: formación de silículas y SS: senescencia de silículas (cosecha).

³F1: fecha de siembra 19 de marzo de 1999.

⁴F2: fecha de siembra 26 de abril de 1999.

los períodos más calurosos, alcanzándose los estados de desarrollo en un menor período de tiempo.

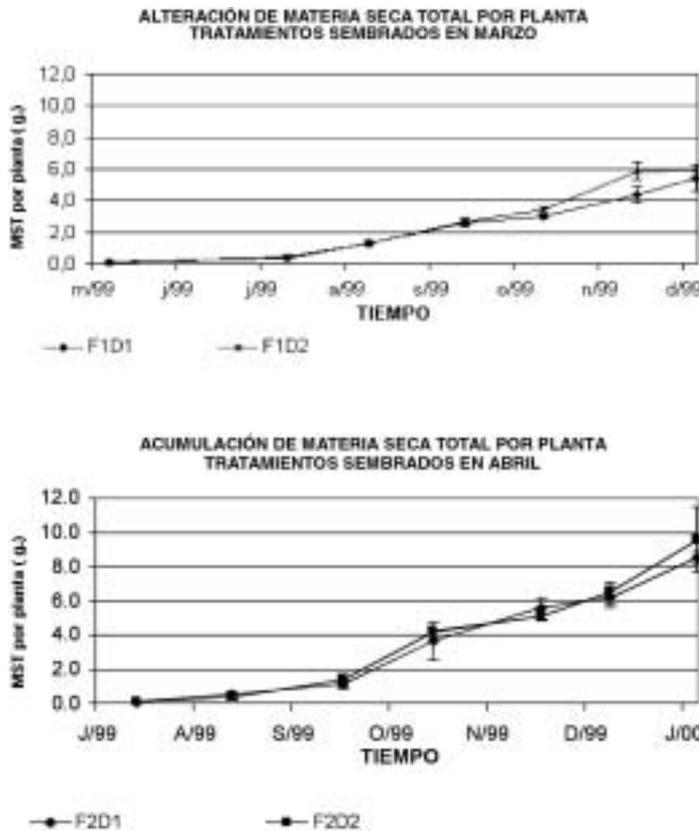
Considerando que las sumatorias de días grado a partir de ambas fechas de siembra hasta un mismo estado fenológico fueron prácticamente iguales (Cuadro 1), las diferencias en la velocidad de desarrollo se explican por las diferentes temperaturas observadas en las fechas calendario en que se producen los estados fenológicos. Los resultados (Cuadro 1), concuerdan con lo indicado por Arnold (1959) respecto de la determinación de la temperatura umbral, quien expresó que si la temperatura umbral es la correcta, la sumatoria de días grado para alcanzar cada estado fenológico debe ser la misma al variar la temperatura media.

La diferencia más relevante se observó al analizar la duración del período vegetativo. Por efecto de la temperatura, las plantas sembradas en marzo alcanzaron el estado de botón floral 91 días después de la siembra y aquellas sembradas en abril lo hicieron a los 143 días (Cuadro 2). Esta diferencia se tradujo en una mayor acumulación de MS de las plantas sembradas en abril, lo que finalmente fue la razón de su mejor rendimiento. Investigaciones

realizadas en Argentina sobre la influencia de la temperatura en la duración de la fase emergencia-floración, indicaron que la temperatura es el factor más importante y que determina la longitud de dicho período y por consiguiente el ciclo del cultivo (Windauer y Ravetta, 1997).

Las curvas de acumulación de MST, construidas con valores obtenidos durante el período de crecimiento del cultivo, indicaron que el factor determinante del crecimiento del cultivo fue la fecha de siembra, debido a la incidencia que ésta tuvo en las temperaturas y a la mayor radiación solar acumulada recibida, a que se sometió el cultivo.

En ambos gráficos de la Figura 1 se observa la lentitud del crecimiento inicial del cultivo. En el caso de los tratamientos F1, el estado fenológico "botón floral" ocurrió el 18 de junio, cuando la acumulación de MS aún era muy pequeña. A diferencia de esto, los tratamientos F2 alcanzaron el mismo estado el 16 de septiembre, acumulando una mayor cantidad de MS. Lo mismo ocurre si se analiza el estado "inicio de formación de silículas", para los tratamientos F1 la acumulación de MS alcanzada al 25 de octubre fue significativamente menor que la alcanzada por los tratamien-



Barra verticales indican error estándar.
 F1 D1: fecha de siembra 19 de marzo de 1999 y 50 kg N por ha.
 F1 D2: fecha de siembra 19 de marzo de 1999 y 78 kg N por ha.
 F2 D1: fecha de siembra 26 de marzo de 1999 y 50 kg N por ha.
 F2 D2: fecha de siembra 26 de marzo de 1999 y 78 kg N por ha.
 MST: materia seca total.

FIGURA 1. Acumulación de materia seca total (g./planta) de *Lesquerella fendleri* en dos fechas siembra y dos dosis de N.

FIGURE 1. Dry matter production (g per plant) of *Lesquerella fendleri* at two sowing date and two N rates.

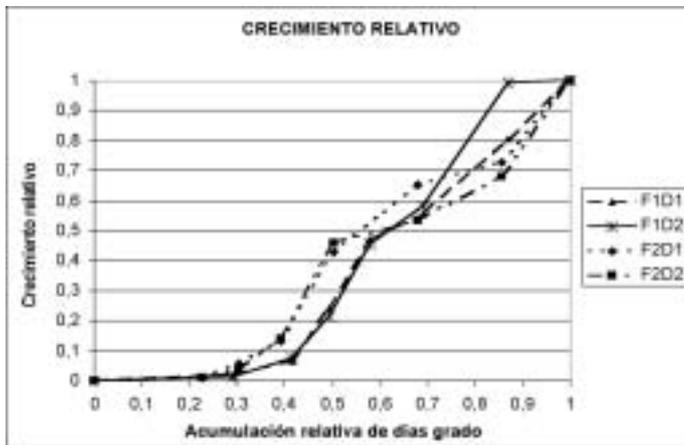
tos F2 en la fecha correspondiente a ese estado (28 de noviembre).

En la Figura 2 se observa que cuando el cultivo alcanza aproximadamente un 50% de su crecimiento, ha acumulado un 55 y un 60% del total de días grado para madurez (F2 y F1, respectivamente). Esta acumulación de días grado corresponde a la misma etapa fenológica (floración) para todos los tratamientos. Lo mismo ocurre al analizar el cultivo cuando ha acumulado un 70% de su crecimiento, todos los puntos se encuentran en el rango de una misma etapa fenológica (formación de silículas).

El único componente de rendimiento que mostró diferencia significativa entre

las fechas de siembra fue el número de frutos por planta, el cual determinó el mayor rendimiento de las plantas sembradas en abril (Figura 3). Las variables número de semillas por fruto, peso de 1000 semillas, índice de cosecha y contenido de aceite, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 3).

La fertilización nitrogenada correspondiente a cada tratamiento no generó diferencias significativas. El contenido de N de la MS se determinó con el objeto de conocer la extracción de N que realizó el cultivo. El Cuadro 4 muestra que la cantidad de N extraída por el cultivo fue mucho mayor que las dosis aplicadas a los



F1 D1: fecha de siembra 19 de marzo de 1999 y 50 kg N ha⁻¹.
 F1 D2: fecha de siembra 19 de marzo de 1999 y 78 kg N ha⁻¹.
 F2 D1: fecha de siembra 26 de marzo de 1999 y 50 kg N ha⁻¹.
 F2 D2: fecha de siembra 26 de marzo de 1999 y 78 kg N ha⁻¹.

FIGURA 2: Crecimiento relativo de *Lesquerella fendleri* sobre la base a la acumulación de materia seca total en función de la acumulación relativa de días grado (%).

FIGURE 2: *Lesquerella fendleri* relative growth based in dry matter production and degree-days (%).

CUADRO 2. Rendimiento de *Lesquerella fendleri* en relación con la duración del período vegetativo, de siembra a botón floral.

TABLE 2. Yield of *Lesquerella fendleri* in relation to vegetative growth.

Fecha de siembra	Período vegetativo (días)	Rendimiento (kg semilla ha ⁻¹)
19 de marzo de 1999	91	502,0 a
26 de abril de 1999	143	1229,5 b

Letras diferentes indican diferencias significativas según ANDEVA con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Barras con letras iguales indican diferencias no significativas según ANDEVA con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

F1 D1: fecha de siembra 19 de marzo de 1999 y 50 kg N por ha.
 F1 D2: fecha de siembra 19 de marzo de 1999 y 78 kg N por ha.
 F2 D1: fecha de siembra 26 de marzo de 1999 y 50 kg N por ha.
 F2 D2: fecha de siembra 26 de marzo de 1999 y 78 kg N por ha.

FIGURA 3. Número de frutos por planta de *Lesquerella fendleri* en dos fechas de siembra y dos dosis de N.

FIGURE 3. Number of fruit per plant of *Lesquerella fendleri* at two sown dates and two N rates.

CUADRO 3. Número de semillas por fruto, peso de 1000 semillas, índice de cosecha (IC), contenido de aceite y kilogramos de semillas por hectárea para los cuatro tratamientos aplicados.

TABLE 3. Number of seeds per fruit, 1000 seeds weight, harvest index (IC), oil content and kilograms of seeds per hectare for the four treatments applied.

Tratamiento	Nº semillas por fruto	Peso 1000 semillas (g)	IC	Contenido de aceite (%)	kg semillas ha ⁻¹
F1 D1	8,63 a	0,611 a	0,155 a	21,88 a	505 a
F1 D2	9,77 a	0,645 a	0,178 a	22,18 a	499 a
F2 D1	9,68 a	0,590 a	0,201 a	22,09 a	1.227 b
F2 D2	7,97 a	0,645 a	0,180 a	23,21 a	1.232 b

Letras iguales indican diferencias no significativas según ANDEVA con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

F1: fecha de siembra 19 de marzo de 1999.

F2: fecha de siembra 26 de abril de 1999.

D1: 50 kg N ha⁻¹.

D2: 78 kg N ha⁻¹.

tratamientos (50 y 78 kg N ha⁻¹). Esto se debe a que el suelo aportó una cantidad considerable de N que fue absorbido por el cultivo, conjuntamente con el N entregado por los tratamientos de fertilización nitrogenada. El origen de esta alta capacidad de suministro de N del suelo se explica al analizar el historial de manejo del sector destinado al ensayo, donde, en temporadas sucesivas, se establecieron cultivos hortícolas (arvejas en 1997 y brócoli en 1998), fertilizados con altas dosis de N,

CUADRO 4. Extracción de nitrógeno (kg N ha⁻¹) de acuerdo al tratamiento aplicado.TABLE 4. Nitrogen extraction (kg N ha⁻¹) according to the applied treatment.

Tratamientos	Extracción de N (kg ha ⁻¹)
F1 D1	111,388 a
F1 D2	101,089 a
F2 D1	163,368 b
F2 D2	182,027 b

Letras iguales indican diferencias no significativas según ANDEVA con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

F1: fecha de siembra 19 de marzo de 1999

F2: fecha de siembra 26 de abril de 1999

D1: 50 kg N ha⁻¹

D2: 78 kg N ha⁻¹

siendo posteriormente incorporados sus residuos.

CONCLUSIONES

El factor de variación que generó diferencias significativas en el desarrollo de las plantas, crecimiento y rendimiento final de semillas fue la fecha de siembra; la mejor respuesta se obtuvo realizando la siembra el 26 de abril.

La diferencia en la duración del período vegetativo se tradujo en que las plantas sembradas en abril acumularon más MS y produjeron más frutos.

El componente de rendimiento que mostró diferencia significativa entre las fechas de siembra fue el número de frutos por planta, concluyéndose que éste fue el componente que determinó el mayor rendimiento de las plantas sembradas en abril.

LITERATURA CITADA

- ARNOLD, C. Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 74: 430-445.
- BROWN, J., and J. ARQUETTE. 1994. *Lesquerella fendleri*, guidelines for cropping. 8 p. International Flora Technologies, Ltd., Arizona, USA.

- CASTILLO, H. y F. SANTIBAÑEZ. 1987. Efecto de la temperatura sobre la fenología del trigo (cv. Aurifen). *Agricultura Técnica*, (Chile) 47 (1) : 29 - 34.
- CIREN. 1996. Estudio Agrológico. Región Metropolitana. Publicación 115, I y II. 464 p. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Santiago, Chile.
- DIERIG, D.A. 1995. *Lesquerella*. Available at: <http://www.newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/cropfactsheets/lesquerella.html>. Accessed april 2, 2000.
- DIERIG, D., and A. THOMPSON. 1993. *Vernonia* and *Lesquerella* potential for commercialization. p 362-367. In J. Janick and J. Simon (eds), *New Crops. Proceedings of the Second National Symposium on New Crops Indianapolis, Indiana, USA, 6-9 October 1991*.
- DIERIG, D., A. THOMPSON, and F. NAKAYAMA. 1993. *Lesquerella* comercialization efforts in the Unites States. *Industrial Crops and Products*, 1: 289-293.
- DIERIG, D., T. COFFELT, F. NAKAYAMA, and A. THOMPSON. 1996. *Lesquerella* and *vernonia*: oilseed for arid lands. Available at: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-347.html>. Accessed august 9, 2000.
- DUKE, J. 1983. *Handbook of energy crops*. Available at: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/lesquerella_fendleri.html. Accessed may 3, 2000.
- KLEIMAN, R. 1990. *Chemistry of new industrial oilseed crops*. Available at: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/v1-196.html#lesquerella>. Accessed august 26, 2000.
- MEHLENBACHER, U. C. 1970. *Análisis de grasas y aceites*. Enciclopedia de la química industrial. Tomo 6. Ed. Urmo España, 637 p.
- ROSEBERG, R. J. 1996. *Underexploited temperate industrial and fiber crops*. Available at: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-060.html#lesquerella>. Accessed August 9, 2000.
- WINDAUER, L., y D. RAVETTA. 1997. *La influencia de la temperatura y fotoperíodo en la duración de la fase emergencia floración en Lesquerella fendleri*. Available at: <http://www.aaic.org/97progrm.htm>. Accessed August 9, 2000.

EFFECTO SOBRE LA ALTURA, DIÁMETRO, FORMA Y FLORACIÓN DE PLANTAS DE ENCINO (*QUERCUS ROBUR*) Y LENGUA (*NOTHOFAGUS PUMILIO*) PRODUCIDAS A TRAVÉS DEL MÉTODO DE PRODUCCIÓN DE RAÍCES (RPM®)

Effect on height, diameter, form and flowering of Oak (*Quercus robur*) and Southern Beech (*Nothofagus pumilio*) plants grown through root production method (RPM®)

RODRIGO OLAVE y JIM McADAM

Applied Plant Science, Plant Breeding Station, Loughgall, Co. Armagh, BT61 8JB, Queen's University, Belfast, UK.

RESUMEN

El método de producción de raíces (RPM®) es una técnica desarrollada por un vivero forestal de Missouri en los Estados Unidos, el cual puede crear árboles más altos y robustos, los cuales producen flores y semillas en un período más corto, acelerando el crecimiento radicular. Este método combina el uso de contenedores de base abierta, selección de semillas y sucesivas podas radiculares a través del aire que circula por la base de los contenedores. En el año 2000 comenzó un programa de investigación, en Irlanda del Norte (Reino Unido), para estudiar la factibilidad técnica de este método en plantas de encino (*Quercus robur*) y lenga (*Nothofagus pumilio*), especies que actualmente se ven limitadas en su establecimiento y desarrollo por factores ambientales y antropogénicos.

El propósito de este estudio fue investigar si estas especies podrían florecer antes y/o crecer más rápido al ser producidas por medio del método RPM y posteriormente evaluar su adaptabilidad para ser integradas a sistemas agroforestales.

Los resultados obtenidos en la etapa de terreno después de tres temporadas de crecimiento, indicaron que la sobrevivien-

cia, crecimiento y forma de las plantas de encino fueron superiores a las plantas de lenga, bajo las condiciones medio ambientales de Irlanda del Norte.

Adicionalmente, los resultados indicaron que la técnica RPM puede ayudar a incrementar el potencial económico, al reducir el tiempo de establecimiento y permitir una selección más temprana de los árboles que llegan a la cosecha final. Además, la técnica RPM ha demostrado una reducción en el tiempo de producir flores y semilla en los encinos, lo cual ocurrió a la edad de 4 años.

PALABRAS CLAVE: Método de producción de raíces, RPM, encino, lenga, floración, forma.

ABSTRACT

The Root Production Method (RPM®) is an innovative technique developed by a forest nursery in Missouri, United States, which may create taller, harder trees which produce flower and seed in a shorter time by accelerated root growth. This method combines bottomless containerization on raised open benches, seed selection, seed handling and air, as a means of root pruning among others. In

2000 a research program started in Northern Ireland (United Kingdom) to study the suitability of this technique for oak (*Quercus robur*) and southern beech (*Nothofagus pumilio*) trees species. There are environmental and anthropogenic factors which currently limit their establishment and early development.

The purpose of this study was to investigate whether these species would develop better if grown according to RPM and to evaluate their suitability for integration into agro forestry systems.

The results obtained from the out planting phase, after three growing seasons, indicated that: survival, growth rate and form of oak, were better than that of southern beech trees under Northern Ireland environmental conditions.

Additionally the results indicated that RPM can help to increase the economical potential by reducing time of establishment and enable final crop selection to be made earlier in the cycle. Moreover RPM has demonstrated reduction in the time to produce flower and seed for oak which was achieved at the age of 4 years .

KEY WORDS: Root production method, RPM, oak, southern beech, flowering, form

INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector agrícola y forestal requiere productos alternativos para incrementar los retornos sobre las inversiones y diversificar los ingresos. Producir madera de calidad y productos forestales no tradicionales, tales como semillas y frutos, posiblemente combinados con ganadería y/o cultivos, a través de un sistema agroforestal son las vías para lograrlo. (McAdam y Sibbald, 2000). Además, existe un gran interés por producir rápidamente especies forestales latifoliadas , lo cual ayudaría a alcanzar aquellos beneficios en un período más breve.

Encinos y lengas son árboles potencialmente interesantes que pueden ser integrados dentro de esquemas agroforestales. Sin embargo, existen factores ambientales,

biológicos y antropogénicos que limitan su establecimiento y rápido desarrollo (Joyce et al, 1998; Loewe et al, 1998).

Por otra parte, aunque producir plantas para uso agroforestal está sujeto entre otros a criterios biológicos, económicos y ambientales, éstos pueden manejarse intensamente con el propósito de obtener plantas de calidad superior (Jaenicke, 1999). No obstante, especies de lento crecimiento como encinos y lengas, siguen siendo difíciles de conjugar para justificar su uso en sistemas agroforestales.

RPM® (Root Production Method) es una técnica desarrollada por un vivero forestal en los Estados Unidos y que en español significa "Método de producción de raíces", el cual consiste en una serie de pasos que se traducen en combinar diferentes tipos de contenedores, selección de semillas, fertilización y podas radiculares (Kuczmariski, 1991; Lovelace, 1999; Olave et al, 2001). Este método puede producir árboles más altos y robustos y además ha mostrado buenos resultados en producir flores y semillas en un período más corto (DARDNI, 2001). Aunque estudios señalan que la floración de estas especies puede ocurrir alrededor de los 40 años de edad para los encinos (Savill 1991) y 35 años para las lengas (Emhart et al, 1999) la floración y semillación temprana de otras especies forestales, utilizando la técnica RPM se ha logrado exitosamente (DARDNI, 2001).

En consecuencia, el año 2000, se produjeron plantas de encino (*Quercus robur*) y lenga (*Nothofagus pumilio*) , por medio de la técnica RPM y se plantaron posteriormente en (Greenmount College, Co. Antrim y en Plant Breeding Station, Co. Armagh. Irlanda del Norte, para evaluar su desarrollo morfológico, fenológico y su potencial para ser integradas a un sistema agroforestal.

MATERIALES Y MÉTODO

Producción de plantas

Semillas de encino (*Quercus robur*) y lenga (*Nothofagus pumilio*) se selecciona-

ron por tamaño, antes de ponerlas a germinar. Las plantas de encino se produjeron en el año 2000, mientras que las plantas de lenga lo fueron al año siguiente (2001). Ambas especies se produjeron en ambientes controlados (Invernaderos) ubicados en Irlanda del Norte (Greenmount College, Co. Antrim y Plant Breeding Station, Co. Armagh). Las plantas se produjeron de acuerdo al procedimiento normal de producción RPM[®], utilizado en los Estados Unidos. Es decir, 150 semillas de cada especie se pusieron en bandejas de base abierta, sobre un compost que consistió en 30% de turba, 70% de corteza de pino (Sitka spruce), más un fertilizante de entrega lenta (160g/m³ - 16N: 3,5 P₂O₅: 9,1K₂O, 3 meses de efectividad), fungicida (Fongarid 62g/m³) y herbicida (Provarido 90g/m³). Las bandejas se colocaron en mesas también de base abierta, de tal forma que la circulación de aire por debajo de los contenedores permitiera la poda de raíces. Una vez que las semillas germinaron y las plantas completaron el primer crecimiento vegetativo (15 cm de altura aproximadamente) fueron inoculadas con micorrizas y trasplantadas en contenedores de 450 cm³ y mantenidas en condiciones controladas (16°C y entre 60% a 80% de humedad relativa día y noche), por otros 3 meses. Luego de este período, las plantas se sacaron del invernadero y se aclimataron a la intemperie por dos días, para luego ser trasplantadas en contenedores de 7.5 litros, y dejadas en un áreas de cuidado de plantas al aire libre, hasta completar un año, como período de viverización (invierno en el hemisferio norte),

momento en que se midió su altura y diámetro iniciales (Tabla 1) y se llevaron a terreno para ser plantadas (Tabla 1).

Plantación y manejos posteriores

En el mes de Enero del año 2001 y Febrero del año 2002, 200 plantas de encino y 60 de lenga, se plantaron en un suelo arcilloso, de topografía medianamente ondulada, ubicado en Irlanda del Norte (54° 37' Norte, 5° 56' Oeste), cuya precipitación media anual es de 735 milímetros, distribuida homogéneamente durante todo el año. La temperatura promedio en verano es 14,5°C mientras en invierno es de 5,19°C. La temperatura promedio anual es de 9,6°C.

Ambas especies se plantaron separadamente utilizando 4 bloques distribuidos completamente al azar. Los bloques donde se plantaron los encinos estaban formados por 50 plantas cada uno, mientras que aquéllos donde se plantaron las lengas contenían 15 plantas.

Los manejos posteriores de la plantación de ambas especies consistieron en desmalezados mecánicos y químicos, los cuales se realizaban periódicamente. Adicionalmente todas las plantas fueron protegidas por tubos de plástico (Gro-cones, APP, UK), contra posibles daños ocasionados por conejos, liebres y ganado doméstico.

Evaluaciones y análisis de resultados

Se evaluó: sobrevivencia, altura, diámetro basal (medido a 2cm del suelo) y

CUADRO 1: Alturas y diámetros iniciales de las plantas de encino y lenga después de un año de viverización y listas para la plantación en terreno.

TABLE 1: Initial height and diameter of oak and southern beech after a year in nursery and ready to be planted in the field.

Especie	Pequeñas		Medianas		Grandes	
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Diámetro (mm)
Encino (<i>Quercus robur</i>)	45,5	6,0	67,5	7,0	92,0	8,2
Lenga (<i>Nothofagus pumilio</i>)	52,1	4,7	67,0	5,5	78,5	5,4

forma de las plantas. Las tres primeras se evaluaron cada año, una vez finalizada la estación de crecimiento, mientras que la forma se evaluó en el año 2003, de acuerdo a 5 categorías, basado en el trabajo de Bulfin y Radford (2000) donde: 1= muy buena, 2= buena calidad; 3= moderada calidad; 4= calidad pobre y 5= muy mala calidad (Figura 1). Adicionalmente, el desarrollo fenológico de ambas especies fue sistemáticamente observado durante este estudio con el propósito de establecer la floración y la producción de semillas (Figura 1).

Por último, las plantas de encinos se agruparon en tres tamaños de acuerdo al criterio mostrado en la Tabla 2 (grandes, medianas y pequeñas), tomándose 12 plantas por cada uno de los tamaños en cada bloque. Las plantas de lenga se agruparon de igual forma, tomando 5 plantas por cada uno de los tamaños en cada bloque (Tabla 2).

Los resultados se evaluaron a través de análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico Genstat versión 6.1 y cuando los análisis de varianza indicaban diferencias significativas, las medias se compararon por medio de la prueba de la mínima diferencia significativa (LSD).

RESULTADOS

Sobrevivencia

Los resultados de terreno señalaron que los encinos tienen mejor sobrevivencia que las plantas de lenga producidas por medio del método RPM. Luego de 3 estaciones de crecimiento, los encinos mostraron una buena sobrevivencia (100%), no

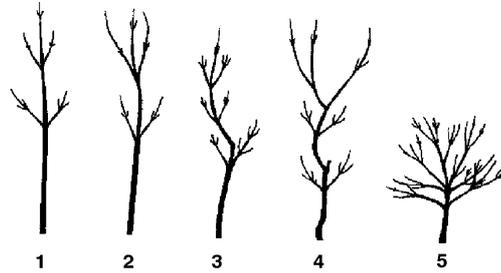


FIGURA 1. Guía visual para categorizar la forma de los árboles de encino y lenga en terreno.

FIGURE 1. Visual guide to classify oak and southern beech trees in the field.

así, la especie lenga, puesto que 60% de las plantas sobrevivieron, luego de dos temporadas en terreno.

Aparentemente la altura de las plantas no influyó en la sobrevivencia de éstas, tanto para los encinos como para las lengas, en cambio el diámetro de la base de las plantas fue un factor importante, especialmente para la especie lenga.

Tamaño y crecimiento de las plantas

Las Tablas 3 y 4 resumen las alturas y los diámetros basales alcanzados en cada estación de crecimiento, de acuerdo al tamaño inicial de las plantas (Tabla 3).

Las alturas y diámetros iniciales de las plantas de encino tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento posterior, sin embargo en las siguientes estaciones de crecimiento, estos efectos fueron disminuyendo, aunque las alturas seguían siendo excelentes para ambas especies.

A pesar que el diámetro inicial de las plantas de encino dentro de las categorías

CUADRO 2: Clasificación de las plantas según el tamaño inicial (Altura cm) antes de la plantación.

TABLE 2: Ranking of plants according to their initial height (cm) before planting.

Tamaño de las plantas	Clasificación de altura de las plantas
Grandes	<75 cm RPM criterio basado en la experiencia en los Estados Unidos*
Medianas	60 a 74 cm
Pequeñas	> 59 cm

*DARDNI, 2001.

CUADRO 3: **Media de las alturas y diámetros basales de las plantas de encino de acuerdo a la altura inicial durante 3 estaciones de crecimiento (2001-2003).**TABLE 3: **Average height and diameter of oak plants according to their initial height for three growing seasons (2001-2003).**

<i>Tamaño de las plantas</i>	<i>Altura Inicial (cm)</i>	<i>Año 1 Altura (cm)</i>	<i>Año 2 Altura (cm)</i>	<i>Año 3 Altura (cm)</i>	<i>Diámetro Inicial (mm)</i>	<i>Año 1 Diámetro (mm)</i>	<i>Año 2 Diámetro (mm)</i>	<i>Año 3 Diámetro (mm)</i>
Grandes	92,0	147,6	167,4	198,9	8,2	19,1	29,3	41,3
Medianas	67,5	140,8	165,8	195,6	7,0	16,8	26,6	38,7
Pequeñas	45,5	136,1	163,9	201,7	6,0	14,5	23,3	34,0
LSD	1,2	5,6	8,3	13,2	0,8	0,7	1,3	1,2
Significancia	***	**	n.s	n.s	**	***	***	***

LSD al nivel de 5%.

Niveles de significancia ***, $p < 0.001$; **, $p < 0.01$; Ns, No significativo.

grandes y medianas, versus las pequeñas eran significativamente diferentes, ellas no afectaron el crecimiento en altura. No obstante, como el diámetro basal de las plantas es un buen predictor de la supervivencia (Mexal et al, 1994) y éste fue excelente durante el período de vivero (Tabla 1), esta buena respuesta de las plantas en terreno, ciertamente también podría ser atribuible a la propia técnica RPM.

Aunque las plantas de lenga respondieron algo diferente a las de encino, la altura de las plantas siguieron patrones similares a los desarrollados por los encinos, es decir, plantas pequeñas crecieron mas rápido que las grandes y media-

nas y éstas últimas fueron alcanzadas alrededor del segundo período de crecimiento (Tabla 4).

Adicionalmente los incrementos en altura y diámetro sobre iguales períodos en terreno no fueron tan buenos como aquellos alcanzados por los encinos.

Forma

Las tablas 5 y 6 resumen el porcentaje de árboles dentro de cada una de las categorías que clasificaron la forma de los árboles, la cual se evaluó en el año 2003. Mientras la tabla 5 indica una tendencia general para los encinos, existe una consi-

CUADRO 4: **Media de las alturas y diámetros basales de las plantas de lenga de acuerdo a la altura inicial durante 2 estaciones de crecimiento (2002-2003).**TABLE 4: **Average height and diameters of southern beech plants according to their initial height for two growing seasons (2002-2003).**

<i>Tamaño de las plantas</i>	<i>Altura Inicial (cm)</i>	<i>Año 1 Altura (cm)</i>	<i>Año 2 Altura (cm)</i>	<i>Diámetro Inicial (mm)</i>	<i>Año 1 Diametro (mm)</i>	<i>Año 2 Diametro (mm)</i>
Grandes	78,5	89,6	93,2	5,4	8,2	12,1
Medianas	67,0	77,2	88,4	5,5	8,1	12,0
Pequeñas	52,1	68,9	78,3	4,7	7,0	10,5
LSD	2,9	5,3	5,6	0,6	1,9	2,0
Significancia	***	***	**	*	n.s	n.s

LSD al nivel de 5%

Niveles de significancia ***, $P < 0.001$; **, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$; Ns, No significativo.

derable variación entre encinos y lengas (Tabla 5).

Alrededor del 54% de las plantas de encino luego de 3 años en terreno se clasificaron dentro de las categorías 2 y 3 (ver Figura 1). Sin embargo, aunque el otro 46% estaba concentrado en las otras tres categorías, hubo mayor porcentaje de árboles concentrados en las categorías 4 y 5. Se aprecia además que el tamaño inicial de las plantas no influyó sobre la forma de los árboles de encino.

En cambio la tabla 6 indica que casi el 60% de las plantas de lenga fueron clasificadas dentro de las categorías 1 y 2 mientras que el resto lo fueron en la categoría 3. Adicionalmente y al igual que los encinos la altura inicial de las plantas no afectó la forma de estas (Tabla 6).

Floración

Aunque la técnica RPM esta basada en sucesivas podas radicales y fertilizacio-

nes, las cuales son mecanismos probados, que podrían eventualmente estimular la floración (Longman, 1987; Chalupka y Ceich, 1997). En este caso la producción de árboles por medio de la técnica RPM no estimuló la floración de encinos y lenga, luego de tres y dos años en terreno respectivamente. Sin embargo, durante la primavera del año 2004, es decir, al comienzo del cuarto año en terreno, se encontraron flores masculinas y femeninas en 27 plantas de encinos, demostrando así la efectividad de la técnica.

DISCUSIÓN

Es importante destacar que según las experiencias desarrolladas en los Estados Unidos, al utilizar la técnica RPM, prácticamente el crecimiento en altura es el factor más importante de este tipo de plantas, debido a que mejora la supervivencia, compiten de mejor forma con otro tipo de vegetación y puede estimular la floración

CUADRO 5. Efecto de la técnica de producción de plantas (RPM) y del tamaño inicial de las plantas de encino sobre la forma de los árboles clasificados en 5 categorías después de 3 años en terreno (2003).

TABLE 5: Effect of the plant production technique (RPM) and of the initial height of oak plants on the shape of trees classified into five categories, after three years in the field.

Tamaño de las plantas	Categoría 1 (% de árboles)	Categoría 2 (% de árboles)	Categoría 3 (% de árboles)	Categoría 4 (% de árboles)	Categoría 5 (% de árboles)
Grandes	20,8	33,3	25	12,5	8,3
Medianas	16,6	33,3	25	12,5	12,5
Pequeñas	20,8	37,5	20,8	10,4	10,5

CUADRO 6: Efecto de la técnica de producción de plantas (RPM) y del tamaño inicial de las plantas de lenga sobre la forma de los árboles clasificados en 5 categorías después de 2 años en terreno (2003).

TABLE 6: Effect of the plant production technique (RPM) and of the initial height of southern beech plants on the shape of trees classified into five categories, after two years in the field.

Tamaño de las plantas	Categoría 1 (% de árboles)	Categoría 2 (% de árboles)	Categoría 3 (% de árboles)	Categoría 4 (% de árboles)	Categoría 5 (% de árboles)
Grandes	35	35	5	0	0
Medianas	25	30	15	0	0
Pequeñas	40	20	5	0	0

(DARDNI, 2001). Así entonces, es probable que las plantas RPM que son capaces de mantenerse durante los primeros años, después de ser plantadas, lleguen a establecerse firmemente y florecer en un tiempo más corto.

En este estudio, las plantas producidas a través de la técnica RPM invariablemente crecieron más rápido y fueron más fuertes y altas que aquellas plantas producidas utilizando otros sistemas de producción (Aldhous y Mason, 1994; Loewe et al, 1998). Adicionalmente, mientras el uso de la técnica RPM ejerció un claro efecto sobre el crecimiento temprano de los encinos y lengas, la categorización inicial de las plantas en grandes, medianas y pequeñas no fue claramente discernible. Es decir, la relación entre los diferentes tamaños de las plantas tendió a estabilizarse luego de la segunda y tercera estación de crecimiento, aunque diferencias tempranas en altura, pueden estar sujetas, tanto al tamaño de las semillas como a factores genéticos (Evans, 1984; Loewe et al, 1998).

Forma

Una de las características más importantes de un árbol en sistemas agroforestales es su forma o la sección más baja del fuste, lo cual eventualmente determinará el valor de la madera (Nair, 1993). Diversos factores determinan esta característica y los métodos de producción de plantas juegan un importante rol en el desarrollo de éstas (Jaenicke, 1999).

Aunque es muy temprano para juzgar sobre la calidad de los fustes de las plantas de lenga, existe un claro indicio que la buena forma que ha mostrado esta especie durante este período, podría ser un efecto de la propia técnica RPM, considerando que esta especie cuando crece en sitios abiertos, tiende a perder su arquitectura natural rápidamente (Loewe et al, 1998).

Por otra parte, a partir de la tercera estación de crecimiento, la forma de algunos encinos ha comenzado a disminuir, con el incremento de ramas laterales y algunos brotes epicórmicos, lo cual podría en el futuro desencadenar una disminu-

ción en los retornos económicos, ya que podría ser necesario manejos posteriores (Bulfin y Badford, 2000). Es probable además, que los tratamientos que estimulan floración y/o rápido crecimiento (poda de raíces y/o fertilización) en plantas jóvenes, podrían afectar el posterior desarrollo de las plantas, incrementando por ejemplo, la pérdida de dominancia apical de los árboles (Chalupka y Cecih, 1997).

Floración

La inducción de la floración a través de medios artificiales durante tempranas etapas ha sido exitosamente probada principalmente en coníferas (Chalupka y Cecih, 1997). Al respecto, Longman (1987) establece que el tratamiento más promisorio para apresurar el cambio de la fase juvenil a adulta, en árboles forestales, es hacer crecer las plantas tan rápido como sea posible, hasta un cierto tamaño y luego aplicar tratamientos de inducción de la floración. Sin embargo, esto también podría involucrar pérdidas de otras características, tales como la forma de los árboles (Chalupka y Cecih, 1997).

Según estos resultados y otras experiencias desarrolladas en los Estados Unidos (Grossman et al, 2003), podría ser perfectamente razonable pensar que bajo las condiciones medio ambientales de Irlanda del Norte, los encinos podrían requerir un período adicional de un año, para producir flores y semillas, mientras que para las lengas, esto tal vez podría ser algo más prolongado.

CONCLUSIONES

A pesar que la más importante prescripción del método RPM es que luego de la viverización, las plantas tengan una altura mayor a 75 cm, estos resultados demuestran que no sería necesario descartar todavía aquellas plantas menores a tal altura, ya que han respondido tan bien como aquéllas que tenían alturas superiores. No obstante lo anterior, no es justificación todavía para relajar los estándares señalados, debido, por ejemplo, a que el

temprano y rápido crecimiento de estas especies podría ayudar sustancialmente a solucionar problemas relativos a la protección de árboles, cuando son plantadas siguiendo esquemas agroforestales.

Los resultados además muestran claramente que la producción de plantas de encinos a través de la técnica RPM es factible. Sin embargo, la especie lenga podría requerir acomodar el sistema de propagación con el propósito de maximizar el enraizamiento y así tolerar en mejor forma, las condiciones ambientales en el lugar de plantación.

Ya que durante la primavera del año 2004, cuando los encinos tenían 4 años de edad, han comenzado a florecer y probablemente produzcan semillas viables en el corto plazo, el método RPM podría implicar un enorme potencial para sistemas agroforestales y también en programas de mejoramiento genético de especies latifoliadas. Esto también se podría extender a la especie lenga, aunque todavía no existen indicios de floración, pero tal vez en el no muy lejano plazo lo lograrán.

Por último, este estudio es una importante contribución al desarrollo de la técnica de la producción de raíces de plantas forestales, en la perspectiva de afirmar que el concepto de poda radicular a través de aire y la fertilización lenta y controlada, son alternativas válidas para la producción de plantas forestales.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Universidad de Magallanes y a la Sociedad Agronómica de Chile y en forma especial a la Ing. Agrónomo (MSc) Consuelo Sáez, por darnos la posibilidad de presentar este trabajo en el 54o Congreso Agronómico de Chile, desarrollado en Octubre del año 2003 en Las Torres del Paine, Chile.

LITERATURA CITADA

- ALDHOUS, JR., MASON, WL 1994. Nursery Practice. Forestry Commission Bulletin 111. HMSO. London.
- BULFIN, M., RADFORD, T. 2000. Effect of early formative shaping on newly planted

broadleaves- Part 1: Quality. Irish Forestry 55 (2) 35-51.

- CHALUPKA, W., CECICH, R. 1997. Control of the first flowering in Forest Trees. Scandinavian Journal of Forestry Research. 12: 102-111.
- DARDNI (Department of Agriculture and Rural Development for Northern Ireland). 2001. Evaluation of Tree Production Systems in Northern Ireland. Meeting Partnership project between: Greenmount College, Applied Plant Science, Forest Service and Forrest Keeling Nursery. 15 p.
- EMHART, V., GUTIERREZ, B., OLAVE, R. 1999. Ciclo reproductivo de la lenga (*Nothofagus pumilio*). Chile Forestal, CONAF. 274: 12-19.
- EVANS, J. 1984. Silviculture of Broadleaved Woodland. Forestry Commission Bulletin 62. HMSO, London. 232p.
- GROSSMAN, BC., GOLD, MA., DEY, DC. 2003. Restoration of hard mast species for wildlife in Missouri using precocious flowering oak in the Missouri River Floodplain, USA. Agroforestry Systems 59: 3-10.
- JAENICKE, H. 1999. Good Tree Nursery Practices. Practical Guidelines for Research Nurseries. International Centre for Research in Agroforestry. Majestic Printing Works. Nairobi, Kenya. 93p.
- JOYCE, P., HUSS, J., MCCARTHY, R., PFEIFER, A., HENDRICK, E. 1998. Growing Broadleaves. Silvicultural Guidelines for Ash, Sycamore, Wild cherry, Beech and Oak in Ireland. COFORD, Dublin. 235p.
- KUCZMARSKI, D. 1991. Getting to the Root of the Matter. American Nurseryman., 174(8): 92-95.
- LOEWE, V., TORAL, M., PINEDA, G., LOPEZ, C., URQUIETA, E. 1998. Monografía de lenga. Proyecto: Potencialidades de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional. Financiamiento Conaf. 94 p.
- LONGMAN, KA. 1987. The significance of juvenility for seed orchard management. Forest Ecology and Management. 19: 9-16.
- LOVELACE, W. 1999. Root Production Method System. Joint meeting of the Northeastern and Western Forest and Conservation Nursery Association Conference, Ames, IA, USA.

- MCADAM, J., SIBBALD, A., 2000. Grazing livestock management. In: Agroforestry in the UK. Forestry Commission Bulletin 122. 128p. Edited by M, Hislop and J, Claridge. 44-57 p.
- MEXAL, J., NEWMANN, R., FISHER, J., PHILLIPS, R., SAMMIS, T., LANDIS, T. 1994. Viveros y Reforestacion en Mexico. Curso Internacional de entrenamiento 4-22 Julio. Centro para la forestacion de las Américas y Universidad Estatal de Nuevo Mexico. 135p.
- NAIR, PKR. 1993. An introduction to Agroforestry KLUWA. Academic Publications. London, UK. 255 p.
- OLAVE, RJ., MCADAM, JH., HARUN, RM., HOPPÉ, GM. 2001. Initial growth and potential of seedlings of Pedunculate oak (*Quercus robur*) for agroforestry. Western Forest and Conservation Nursery association meeting, Durango, CO, USA (Abstr.)
- OLAVE, R., MCADAM, J. 2002. The potential for agroforestry in southern Chile. Farming with trees: New options for short-term profit. Agroforestry Forum. Annual Meeting. Cirencester, England, UK. (Abstr.) ESTA CITA NO PARECE FIGURAR EN EL TEXTO Comprobar
- SAVILL P. 1991. The Silviculture of trees used in British Forestry. CAB International, 98 p.

EFFECTO DEL AZUFRE Y DEL NITROGENO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL TRIGO¹

Sulfur and nitrogen effect in wheat grain yield and quality

MARIO MELLADO Z., INIA QUILAMAPU²

¹Trabajo presentado al 54 Congreso Agronómico de Chile. Puerto Natales 9-10 de Octubre de 2003.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile. E-mail: mmellado@inia.cl

RESUMEN

Durante dos temporadas (2001/02 y 2002/03), se realizó un ensayo con el cultivar de trigo harinero de primavera (*Triticum aestivum* L.) Domo - INIA, para evaluar el efecto del S y del N sobre el rendimiento y calidad del grano. Se usó un diseño de parcela dividida con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron 0 y 50 kg ha⁻¹ de S elemental aplicados en la siembra. Los subtratamientos fueron sin N, y 240 kg de N ha⁻¹ aplicados en fracciones en diferentes estados fenológicos: 100% a la siembra; 50% a la siembra y 50% a la macolla; 1/3 a la siembra, 1/3 a la macolla y 1/3 a la espigadura; 1/4 a la siembra, 1/4 a la macolla, 1/4 en hoja bandera y 1/4 en floración. Los experimentos fueron ubicados en un suelo Typic Dystrandepts del Campo Experimental Santa Rosa (36°31' lat. Sur, 71°54' long. Oeste), perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.

El S no produjo efecto en el rendimiento ni en la calidad del grano. A diferencia del S, el N fue importante. El rendimiento de grano sin aplicación de N varía entre 4,32 y 4,44 t ha⁻¹, en tanto que los máximos rendimientos, logrados al aplicar 240 kg ha⁻¹ de N distribuidos en tres partes (siembra, macolla y espigadura), variaron entre 8,02 y 10,12 t ha⁻¹. Los valores máximos de proteína se alcanzaron al aplicar el N en cuatro parcialidades (siembra, macolla, hoja bandera y floración) y fueron de 11,5

y 12,4%. Se concluyó que en suelos de riego, con bajos niveles de N, las aplicaciones tardías de N en trigos de Primavera aumentan la calidad del grano, sin disminuir el rendimiento.

PALABRAS CLAVE: *Triticum aestivum* L., nitrógeno, azufre, rendimiento, calidad del grano.

ABSTRACT

A trial was carried out during two seasons (2001/ 02 and 2002/ 03), with a spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Domo - INIA, to evaluate the effect of sulfur and nitrogen applications on yield and grain quality. A split plot design with four replications was used. Treatments were 0 and 50 kg ha⁻¹ of elemental S, applied at planting. Sub treatments were: 0 N and 240 kg ha⁻¹ of N applied in fractions in different phenological stages: 100% at sowing; 50% at sowing and 50% at tillering; 1/3 at sowing, 1/3 at tillering and 1/3 at heading; 1/4 at sowing, 1/4 at tillering, 1/4 at flag leaf and 1/4 at flowering. The experiments were located in an Typic Dystrandepts soil at the Santa Rosa Experimental Field (36°31' Slat; 71°54' W long) belonging to the National Agriculture Research Institute, INIA, Chillan, Chile.

S did not produce any effect on yield and quality of grain. Unlike S, N effect was important.

Grain yield without N application va-

ried between 4.32 and 4.44 t ha⁻¹, meanwhile maximum yield obtained with 240 kg ha⁻¹ of N distributed in three fractions (at sowing, tillering and heading) varied between 8.02 and 10.12 t ha⁻¹. Maximum grain protein values were obtained when N was applied in four fractions (at sowing, tiller, flag leaf and flowering) and reached at 11.5 and 12.4%. It was concluded that in irrigated soils with low N level, late N applications increased grain quality without decreasing grain yield.

KEY WORDS: *Triticum aestivum* L., nitrogen, sulfur, yield, grain quality.

INTRODUCCION

El azufre (S) y principalmente el nitrógeno (N) son nutrientes que influyen en el rendimiento y la calidad panadera del trigo (*Triticum aestivum* L.), ya que forman parte de las proteínas del grano. Si bien el N es constituyente de todos los aminoácidos, el S sólo está presente en la metionina, cisteína y cistina.

A diferencia de lo que ocurre con el N, el trigo tiene un requerimiento relativamente bajo de S, alcanzando a unos 20 kg ha⁻¹ para un rendimiento de 8 t ha⁻¹ (Scherer, 2001). A pesar de ello las aplicaciones de S pueden aumentar la calidad del grano al beneficiarse la relación N: S, la que normalmente en trigo debe ser 17:1 (Gooding y Davies, 1997). Los suelos deficientes en S son escasos, comparados con aquellos donde falta el N. Sin embargo, en suelos pobres en materia orgánica, como ocurre en los suelos arenosos, el S es un factor limitante en la producción de trigo (Rodríguez, 1989). Por otra parte Skerritt *et al.* (1998) indican que la deficiencia de S altera el desarrollo de las proteínas gliadinas y gluteninas. Señalan que cuando el S no es limitante, las gluteninas se desarrollan primero que las gliadinas, mientras que en condiciones de deficiencia de S, sucede lo contrario.

Con respecto al N, son muchos los trabajos que señalan el efecto positivo de este

nutriente en el rendimiento de grano y en su calidad, según sea la dosis y su forma de aplicación (Langer y Liew, 1973; Wuest y Cassman, 1992 a y b; Alcoz *et al.*, 1993; Mellado, 1996a). Respecto al rol del N en la calidad del grano, Langer y Liew (1973), Strong (1982), Johnston y Fowler (1991) y Wuest y Cassman (1992a) señalan que para obtener un grano de trigo harinero de buena calidad, es decir, con un nivel aceptable de proteína, el N se debe aplicar tarde en el ciclo "a fin de mejorar su absorción durante el llenado del grano. Usando N marcado, Wuest y Cassman (1992a) encontraron que el N aplicado en antesis es 65% más eficiente en su absorción que el N aplicado durante la siembra, y que este N era distribuido con mayor eficiencia hacia el grano (Wuest y Cassman, 1992b).

En Chile esta vigente la Norma Oficial 1237.2000 (INN, 2000), que señala los requisitos que debe cumplir el trigo destinado a consumo humano. Considerando el porcentaje de proteína total, como uno de los criterios importantes de calidad, esta norma clasifica los trigos en suaves (7,0-8,9%), intermedios (9,0-10,4%) y fuertes (>10,5%). También se aplican estas tres categorías al considerar el índice de sedimentación y el porcentaje de gluten húmedo del grano. Debido a la aplicación de estas normas, los productores se están preocupando de manera creciente en las prácticas de manejo encaminadas a mejorar la calidad del grano.

El objetivo de este experimento fue determinar los efectos del S aplicado en la siembra y del N aplicado en distintos estados fenológicos, sobre el rendimiento y calidad del grano de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante los años 2001 y 2002, en un suelo Trumao, Typic Dystrandep, sembrado con avena (*Avena sativa* L.) en la temporada previa, ubicado en el Campo Experimental Santa Rosa (36° 31' lat. Sur, 71° 54' long. Oeste), y perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillan, Chile. Como se observa en el Cuadro 1,

estos suelos presentaron bajos niveles de N y medio a bajo de S.

Análisis efectuados en el Laboratorio de Diagnóstico Nutricional del INIA-Centro Regional de Investigación Quilamapu. Las letras que acompañan a los valores señalan la categoría de disponibilidad: B= bajo; MB= muy bajo, M= medio y MA= muy alto.

Se usó un diseño experimental de parcelas divididas de dos tratamientos, cinco subtratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos de S fueron: T1= sin S, y T2 = 50 kg ha⁻¹ de S micronizado aplicado al momento de la siembra. Según Havlin *et al.* (1999) cuando el S micronizado es incorporado en un suelo con buena aireación y sin restricciones de humedad, como fue el caso en estos ensayos, es tan efectivo como otras fuentes de fertilizantes que contengan S.

Los subtratamientos de N fueron: t₁= sin N; t₂= 100% del N al momento de sembrar; t₃= 50% del N a la siembra y 50% a la macolla; t₄= 1/3 del N a la siembra, 1/3 a la macolla y 1/3 a la espigadura, y T5= 1/4 del N a la siembra, 1/4 a la macolla, 1/4 en hoja

bandera y 1/4 durante la floración. La totalidad del N aplicado fue de 240 unidades, como salitre sódico (N-NO₃). Las fechas de siembra y de aplicación del N se indican en el Cuadro 2.

Todo el ensayo recibió una fertilización base durante la siembra consistente en: 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como superfosfato triple; 100 kg ha⁻¹ de K₂O como muriato de potasio (KCl); 1 kg ha⁻¹ de B como boronatrocalcita, y 1,2 kg ha⁻¹ de Zn como óxido de zinc.

La parcela menor fue de 6 hileras de 2 m de longitud separadas a 20 cm entre líneas, y para evaluar el rendimiento de grano se cosecharon las 4 hileras centrales (1,4 m²).

Se sembró la variedad de trigo harinero de primavera Domo -INIA con una dosis de semilla equivalente a 200 kg ha⁻¹. Las malezas se controlaron con 300 g ha⁻¹ de Hussar 20 WG (iodo sulfuron) en 200 L de agua, aplicado durante el periodo de macolla del trigo.

En el 2001 se aplicaron cuatro riegos por tendido: encañado (24 septiembre), hoja bandera (18, de octubre), floración (16

CUADRO 1. Características químicas de los sitios experimentales, en el estrato 0-25 cm¹.

TABLE 1. Chemical properties of the experimental sites in the stratum 0 -25 cm¹.

Año	pH al agua (rel. 1:2,5)	N disponible (mg kg ⁻¹)	P Olsen (mg kg ⁻¹)	K intercambiable (cmoles(+) kg ⁻¹)	Materia orgánica (%)	S extractable (mg kg ⁻¹)
2001	6,3	8 (MB)	36 (MA)	389 (MA)	6,2 (M)	6,0 (B)
2002	6,0	12 (B)	25 (MA)	133 (MA)	8,1 (M)	9,8 (M)

CUADRO 2. Fechas de siembra y de aplicación del nitrógeno.

TABLE 2. Dates of sowing and nitrogen application.

Estado fenológico	Fechas de aplicación de N	
	Temporada 2001/02	Temporada 2002/03
Siembra	6 de julio	31 julio
Macolla (4-5) ¹	30 de agosto	23 septiembre
Hoja bandera (8-9) ¹	25 octubre	7 noviembre
Espigadura (10,3-10,4) ¹	2 noviembre	12 noviembre
Floración (10.5.2-10.5.3) ¹	16 noviembre	25 noviembre

¹En paréntesis se indica el desarrollo según Escala de Feekes (Large, 1954).

de noviembre) y grano acuoso (3 de diciembre). En la temporada 2002/03 se dio un solo riego, al término de la floración (4 de diciembre), dado que la primavera fue muy lluviosa y más fresca que la temporada anterior (Cuadra 3).

Las características evaluadas fueron:

1. Rendimiento de grano (RG), t ha⁻¹.

2. Espigas par m² (EM). Se contaron las espigas de una hilera de 2 m (0,4 m²).

3. Peso del hectolitro (PH), kg hl⁻¹. Se evaluó en una muestra de trigo libre de impurezas, empleando una balanza Scharrer de 250 ml de capacidad.

4. Proteína del grano (PG). Determinada por el método de Kjeldahl, el cual asume una relación constante entre el N total y los polímeros de aminoácidos que se unen para formar las proteínas. Se usó harina integral obtenida en un molino Tecator con tamiz de 1 mm de diámetro. La muestra de harina fue de 0,28 g, y el factor aplicado para expresarla en porcentaje fue de 5,7.

5. Gluten húmedo (GH), %. Se determina en un promilógrafo T 2 VQ (Max Egger

de Austria), usando una muestra de 10g de harina pura y una solución salina al 2%.

6. Índice de sedimentación (SED), cm³. Se determina por el método de Zeleny (Parodi y Wulf, 1966) usando una muestra de harina pura de 0,64 g, a la cual se agregaron 10 ml de azul de bromo fenol y 5 ml de una solución de ácido láctico + alcohol isopropílico.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza indica que el S no influyó en ninguna de las variables analizadas, durante los dos años de estudio (Cuadro 4). Por su parte, la aplicación de nitrógeno mejoró significativamente todas las variables, lo que se explica porque los suelos presentaban un bajo nivel de N disponible y porque este nutriente se requiere en mayores cantidades que el S. La ausencia de interacción S x N, se debería a que el suelo aportó S suficiente para satisfacer los niveles de producción y parámetros de calidad obtenidos con las diferentes modalidades de aplicación del N.

CUADRO 3: Condiciones climáticas en el sitio de los experimentos. Campo Experimental Santa Rosa (36° 31' lat. Sur, 71° 54' long. Oeste).

TABLE 3: Climatic conditions in the experimental site. Santa Rosa Experimental Field (36°31' S 71° 54' W).

Mes	Año 2001			Año 2002		
	PP. ¹ (mm)	ET. ² (mm)	T. ³ (°C)	PP. ¹ (mm)	ET. ² (mm)	T. ³ (°C)
Enero	50,4	160,3	18,3	0,4	188,8	19,5
Febrero	5,2	196,2	19,1	198,0	175,2	18,6
Marzo	6,2	149,4	16,2	83,0	130,5	15,3
Abril	84,0	87,3	11,9	48,2	80,7	11,6
Mayo	377,8	43,4	10,5	253,2	44,2	9,4
Junio	160,8	43,3	7,9	175,4	32,5	5,5
Julio	470,7	28,5	9,0	143,2	40,9	6,8
Agosto	9,1	119,6	50,1	179,8	48,4	9,8
Septiembre	26,8	90,3	10,8	98,0	86,9	10,3
Octubre	15,2	130,6	13,5	256,0	111,3	12,3
Noviembre	30,6	174,0	15,1	68,8	155,2	13,9
Diciembre	0,2	251,9	20,0	14,4	201,7	17,0
Total o rango	1381,1	1378,6	7,9 -20,044	1553	1296,3	5,5 -19,54

¹PP= Precipitación; ²ET = Evapotranspiración; ³T= Temperatura media; ⁴Rango.

CUADRO 4: Significancia de los valores de F en el análisis de varianza.

TABLE 4: F values significance of the variance analysis.

Fuente variación	G.L.	RG	EM	Variables ¹				Año
				PH	PG	GH	SED	
Efecto S	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2001
	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2002
Efecto N	4	**	**	**	**	**	**	2001
	4	**	**	**	**	**	**	2002
Interacción S x N	4	ns	ns	ns	*	ns	ns	2001
	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2002

(1) RG: Rendimiento de grano t h⁻¹; EM: espigas m⁻²; PH: peso hectolitro kg/l, PG: proteína del grano %; GH: gluten húmedo %H; y SED: sedimentación cm³.

**p < 0,01 ; * < 0,05; ns= no significativo; S= azufre; N= nitrógeno.

Efecto del azufre

En concordancia con el análisis de varianza, los datos del Cuadro 5 indican que el S aplicado en la siembra no influyó en ninguna de las variables analizadas. Esto podría explicarse por el nivel medio de materia orgánica de los suelos usados, y porque según Echeverría *et al.* (1996), la materia orgánica aporta más del 90% del S disponible para las plantas.

Numerosos antecedentes indican que en suelos pobres en materia orgánica, el S es importante en elevar los rendimientos de grano de trigo. Al respecto, datos de Chiarotti y Pontoni (2003) señalan que en un suelo con 2,3% de materia orgánica y 8,3 mg kg⁻¹ de S-sulfatos, el rendimiento de grano aumentó significativamente en 566 kg ha⁻¹ al aplicar 30 kg de S a la siembra. Por su parte, Rodríguez (1989) señaló que en un suelo arenoso con 0,7 mg kg⁻¹

CUADRO 5. Efecto del azufre sobre el rendimiento y calidad del grano de trigo.

TABLE 5. Sulphur effect on yield and grain quality of wheat.

Variables	Año	Dosis de Azufre (kg ha ⁻¹)*	
		0	50
Rendimiento (t ha ⁻¹)	2001	8,63 a	8,55 a
	2002	7,30 a	6,78 a
Espigas m ⁻²	2001	544 a	547 a
	2002	553 a	574 a
Peso del hectolitro (kg hl ⁻¹)	2001	84,80 a	84,74 a
	2002	84,20 a	84,00 a
Proteína del grano (%)	2001	10,5 a	10,8 a
	2002	10,6 a	10,9 a
Gluten Húmedo (%)	2001	31,9a	32,1 a
	2002	31,6 a	34,0 a
Sedimentación (cm ⁻¹)	2001	20,3 a	20,3 a
	2002	24,9 a	24,4 a

*En cada hilera, los valores con letras iguales no difieren significativamente Según la Prueba de Duncan al 5%.

de S extractable, el rendimiento de grano aumentó 2.250 kg ha⁻¹ al aplicar 30 kg de S ha⁻¹.

Efecto del nitrógeno: rendimiento de grano, espigas m⁻², y peso del hectolitro

Los rendimientos de grano sin aplicación de N, aunque superaron las 4 t ha⁻¹ en ambas temporadas, fueron significativamente menores que los rendimientos obtenidos con las diferentes modalidades de aplicación de 240 kg ha⁻¹ de N. Ello se explica en estos experimentos, por la fuerte disminución observada en el número de espigas por unidad de superficie, cuando no se aplicó N. Es así como en el Cuadro 6 se observa que durante 2001 y 2002, el rendimiento del testigo alcanzó al 42,7 y 55,4% respecto al mayor rendimiento, que correspondió a la aplicación del 50% del N en siembra y 50 % en macolla.

Al comparar el rendimiento obtenido con las distintas modalidades de parcialización del N se observa que no hubo diferencias entre ellas, excepto cuando el N se aplicó en siembra y macolla vs. al aplicarlo en cuatro parcialidades (t₅), donde esta última modalidad fue significativamente inferior, pero solamente el año 2001. Este resultado es concordante con lo indicado

par Finney *et al.* (1957) y Mellado (1996a), quienes indicaron que los efectos de la parcialización del N son más claros en siembras de otoño que en las de primavera.

El peso del hectolitro mejoró significativamente al aplicar el N en tres y cuatro fracciones (t₄ y t₅), aunque estos valores fueron iguales al testigo el año 2002.

Calidad del grano

Aunque los rendimientos de grano fueron elevados, y teniendo presente que en general existe una relación inversa entre rendimiento y proteína del grano de trigo, las aplicaciones tardías de N aumentaron significativamente la calidad del grano, evaluada en estos experimentos a través del porcentaje de proteína, gluten húmedo, y sedimentación (Cuadro 7). Se observa que la aplicación de N en el estado de espigadura, y especialmente durante el estado de hoja bandera y floración, aumentó la calidad del grano, efecto que también es indicado por Langer y Liew (1973), Banzinger *et al.* (1994) y Mellado (1996 b). Sin embargo, Ehdaie y Waines (2001) indicaron que al aplicar una parte del N en floración no aumenta la calidad del grano, porque la mayor parte del N del

CUADRO 6. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de grano y peso del hectolitro.

TABLE 6. Nitrogen effect on grain yield and hectoliter weight.

Aplicación de N ¹ (kg ha ⁻¹)	Variables evaluadas					
	Rendimiento (t ha ⁻¹) 2001	Rendimiento (t ha ⁻¹) 2002	Espigas m ⁻¹		Peso hectolitro (kg hl ⁻¹)	
t1	4,32 c*	4,44 b*	376 c*	430 c*	84,33 b*	84,47 a*
t2	9,75 ab	7,50 a	551 b	590 ab	83,88 c	83,71 b
t3	10,12a	13 8,02 a	623 a	661 a	84,07 bc	83,30 b
t4	9,46 ab	7,71 a	604 ab	582 ab	85,79 a	84,50 a
t5	9,30 b	7,53 a	574 b	554 b	85,79 a	84,65

1 t₁= sin N; t₂= 100% del N (240 kg ha⁻¹) al momento de sembrar; t₃=50% del N a la siembra y 50% a la macolla; t₄= 1/3 del N a la siembra, 1/3 a la macolla y 1/3 a la espigadura, y t₅= 1/4 del N a la siembra, 1/4 a la macolla, 1/4 en hoja bandera y 1/4 durante la floración.

*En cada columna, los valores con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de Duncan al 5%.

CUADRO 7. Efecto de la parcialización del nitrógeno sobre la calidad del grano de trigo.

TABLE 7. Effect of nitrogen splitting on the wheat grain quality.

Aplicación de N ¹ (kg ha ⁻¹)	Proteína del grano (%)		Gluten húmedo (%)		Sedimentación (cm ³)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
	t1	10,4 c*	10,1 c*	26,9 b*	25,4 c*	16,9 b*
t2	9,9 c	10,9ab	26,7 b	30,2 c	17,9b	23,4 b
t3	9,2 d	10,6be	25,8 b	27,6 c	18,8b	23,4 b
t4	11,4 b	11,1ab	39,1 a	36,6 b	24,1 a	26,9 a
t5	12,4 a	11,5a	41,4 a	44,2 a	23,8 a	29,6 a

1 t1= sin N; t2= 100% del N (240 kg ha⁻¹) al momento de sembrar; t3=50% del N a la siembra y 50% a la macolla; t4= 1/3 del N a la siembra, 1/3 a la macolla y 1/3 a la espigadura, y t5= 1/4 del N a la siembra, 1/4 a la macolla, 1/4 en hoja bandera y 1/4 durante la floración.

*En cada columna, los valores con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de Duncan al 5%.

grano es trasladado a partir del N asimilado en preantésis.

Basado en esta última fundamentación, la mejor calidad del grano señalada en el Cuadro 7, se debería al N aplicado durante la hoja bandera y espigadura de los tratamientos t₄ y t₅.

CONCLUSIONES

El S elemental aplicado al momento de la siembra de un trigo establecido en un suelo con nivel medio de materia orgánica y medio a bajo en S extractable, no influye en ninguna de las características evaluadas en este trabajo. Sin embargo, el N elevó significativamente el rendimiento y la calidad del grano.

Si bien la aplicación de todo el N en la siembra produjo un rendimiento similar que el obtenido al aplicarlo parcializado, la mejor calidad del grano se logró al aplicar una parte del N en etapas tardías de desarrollo del trigo. Por lo tanto, la aplicación de nitrógeno efectuada en un estado fenológico avanzado con el fin de mejorar la calidad del grano y mantener un rendimiento aceptable, es una opción de manejo real en trigos de primavera sembrados en suelos de riego con bajo nivel de N disponible. Esta mejor calidad del grano

permite ofrecer al mercado un producto con más valor agregado.

LITERA TURA CITADA

- AICOZ, M. M., F. M. HONS, and V. A. HABY. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *Agron. Jour.* 85: 1198-1203.
- BANZINGER, M., B. FEIL, J. SCHMID, and P. STAMP. 1994. Utilization of late applied fertilizer nitrogen by spring wheat genotypes. *Eur. J. Agron.* 3:63-69.
- CHIAROTTI, S. y C. PONTONI. 2003. Trigo: ensayo de fertilización azufrada. Disponible en: <http://www.El sitioagricola.com/articulos/chiarotti> Leído el 18 de agosto de 2003.
- ECHVERRIA, H. N. SAN MARTIN., y R. BERGONZI. 1996. Mineralización del azufre y su relación con la del nitrógeno en suelos agrícolas. *Ciencia del Suelo* 14:107-109.
- EHDAIE, B., and J. G. WAINES. 2001. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. *Field Crop Research* 73:47-61. On line.
- FINNEY, K. F., I. W. MEYER, F. W. SMITH, and H. C. FRYER. 1957. Effect of foliar spraying

- on Pawnee wheat with urea solutions on yield, protein content, and protein quality. *Agron. Jour.* 49:341-347.
- GOODING, M.J, and W.P. DAVIES. 1992. Wheat production and utilization. Chapter 6. Crop nutrition and fertilizer use. p. 146-183. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- HAVLIN, J., J. BEATON, S. TISDALE, and W. NELSON. 1999. Soil fertility and fertilizers. p.217-235. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2000. Norma Chilena Oficial N° 1237-2000. Trigo Harinero - Requisitos. 16 p. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- JOHNSTON, AM., and D.B. FOWLER. 1991. No till winter wheat production: Response to spring applied nitrogen fertilizer and placement. *Agron. Jour.* 83:722-728.
- LANGER, R.H.M., and F.K.Y. LIEW. 1973. Effects of varying nitrogen supply at different stages of reproductive phase on spikelet and grain production and on grain nitrogen in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 24: 647-656.
- LARGE, E.C. 1954. Growth stages in cereals: Illustrations of the Feekes' scale. *Plant Pathol.* 3 : 128-129.
- MELLADO, M. 1996a. Aplicaciones basales y suplementarias de nitrógeno en trigos harineros (*Triticum aestivum* L) I. Efecto sobre el rendimiento de grano. *Agric. Tec. (Chile)* 56: 122-127.
- MELLADO, M. 1996b. Aplicaciones basales y suplementarias de nitrógeno en trigos harineros (*Triticum aestivum* L) II. Efecto sobre la calidad del grano. *Agric. Tec. (Chile)* 56:128-132.
- PARODI, P. y H. WULF 1966. Expresión de la heterosis en la calidad molinera y panadera de híbridos en trigo. *Agric. Tec. (Chile)* 26:97-106.
- RODRÍGUEZ, N. 1989. Uso eficiente de nutrientes en la producción de trigo en la Región Centro Sur. p. 119-135. Serie La Platina N° 14. En: Baherle, P., y Landon, P. 1989. Seminario Impacto de los Fertilizantes en la Producción Agrícola. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental La Platina., Santiago, Chile.
- SCHERER, W. 2001. Sulphur in crop production. Invited paper. *Eur. J. of Agron.* 14: 81-111.
- SKERRITT, J.H., P.Y. LEW, and S.L. CASTLE. 1998. Accumulation of gliadin and glutenin polypeptides during development of normal and sulphur-deficient wheat seed: analysis using specific monoclonal antibodies. *J. Exp. Bot.* 39: 723-737.
- STRONG, W.M. 1982. Effect of late application of nitrogen on the yield and protein content of wheat. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 22:54-61.
- WUEST, S.B., and K.G. CASSMAN. 1992a. Fertilizer - nitrogen use efficiency of irrigated wheat: I. Uptake efficiency of preplant versus late - season application. *Agron. Jour.* 84. 682-688.
- WUEST, S.B., and K.G. CASSMAN. 1992b. Fertilizer - nitrogen use efficiency of irrigated WHEAT: II. Partitioning efficiency of preplant versus late season application. *Agron. Jour.* 84: 689-694.

EFFECTO DEL TIPO DE EMBALAJE SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE FRUTOS DE NÍSPERO (*ERIOBOTRYA JAPONICA* LINDL), CV. GOLDEN NUGGET EN ALMACENAJE REFRIGERADO¹

Effect of the packaging material on the quality of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv Golden Nugget in cold storage¹

JOSÉ ANTONIO OLAETA C., PEDRO LUIS UNDURRAGA M., ÁLVARO JARA, XIMENA FEITO C.
Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. E-mail. jolaeta@ucv.cl

RESUMEN

Nísperos cv. Golden Nugget cosechados en Quillota, V Región, Chile, con color amarillo anaranjado, fueron embalados en cuatro sistemas. El primero, con 49 frutos en caja de cartón corrugado, con bandeja alveolada y papel camisa envolvente; el segundo en cajas de cartón corrugados con cuatro cestas de polietileno tereftalato (PET), tipo clamshell con tapa, conteniendo seis frutos por cesta; el tercero, cajas de cartón corrugados con 4 cestas PET, que contenían además 7,6 gr. de perlita de polietileno expandido, con 24 frutos por caja y cajas de madera con bandeja alveolada y malla plástica adhesiva como tapa, conteniendo 21 frutos.

Todos fueron almacenados a 6 °C, 95% de HR hasta por 30 días, evaluándose a 0, 10, 20 y 30 días los parámetros: deshidratación (%); sólidos solubles (° brix); pH; acidez titulable; color, y un panel de evaluación sensorial.

El almacenaje incrementó la deshidratación y el pH, mientras que la acidez titulable disminuyó. El embalaje en caja de madera incrementó el nivel de sólidos solubles. El color, no fue influenciado mayormente por los factores en estudio. La evaluación sensorial mostró efecto sobre la apariencia externa de embalajes y frutos. En relación al sabor, este fue afectado

por los tratamientos sólo a los 30 días de almacenaje. Una relación beneficio/ costo indicó que la mayor utilidad bruta/ kilo correspondió al cartón corrugado con bandeja alveolada y la menor a caja de madera con bandeja alveolada.

PALABRAS CLAVE: Cartón corrugado, polietileno tereftalato, fruta, calidad, temperatura.

ABSTRACT

Fruits from loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget were harvested with yellow-orange rind color, from an orchard in Quillota, 5th Region of Chile. Afterwards, the fruits were packed in four packaging systems. The first treatment consisted of corrugated cardboard, molded trays and two wrapping papers. The second consisted of a corrugated cardboard box and four polyethylene terephthalate (PET) clamshells. The third treatment was similar to the second, but had expanded polystyrene (EPS) inside of every clamshell between the fruit. The fourth packaging treatment consisted of a wooden box, a molded tray and an adhesive plastic mesh as a cover. All packaging treatments were stored at 6 °C and 95% relative humidity. Temperature sensors were used inside of the packaging. The parameters measured were: weight loss, soluble solids, pH, acidity, and rind color

¹Financiado por FONDEP Proyecto D01/1053.

(lightness, chroma and hue angle) which were analyzed at 0, 10, 20 and 30 days of storage. A tasting panel was also done at 20 and 30 days of storage, in order to evaluate organoleptic characteristics. The results of this study indicated that fruit showed the same evolution in quality standards, regardless of the packaging system, except for soluble solids content which was higher in the wooden packaging. Organoleptically, the fruits maintained a high acceptance only until 30 days after being harvested and stored. The interior of the wooden box cooled faster than the others, and the EPS helped to maintain a constant temperature inside of the packaging. The traditional packaging system was more profitable than the alternatives.

KEY WORDS: Corrugated cardboard, polyethylene terephthalate, fruit quality, temperature.

INTRODUCCION

En Chile, se cultiva el níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl) principalmente en la zona central, entre las regiones IV y VI, fruto que tiene un gran potencial de exportación ya que alcanza muy buenos precios principalmente en Estados Unidos. (Fichet y Razeto, 2002).

El fruto de níspero presenta una alta susceptibilidad a desarrollar manchas pardas y negras, producto de golpes leves durante la cosecha, por el manipuleo y por roces producidos por movimiento de la fruta en el embalaje, afectando directamente la calidad y haciendo poco atractivo el producto final (Thompson *et al.*, 1979; Packing y Envasado, 2004; Paños, 1996).

En Chile los frutos de níspero se empaquetan, clasificados por calibre y color, en bandejas de cartón en cuyo interior se ubica una bandeja alveolada plástica llamada "Traypack", donde se depositan los nísperos y luego se cubre con papel blanco). Martínez (1991) y Mazzuz (1998) señalan que este tipo de envase es fácilmente reciclable, posee un importante ahorro de

espacio, y tiene gran facilidad de montaje posterior.

Luego la fruta es enfriada y almacenada a temperaturas que fluctúan entre 0°C y 10°C. con 90-95% HR (Razeto, 1988; McGregor, 1989; Fernández y Caballero, 2002; Quila, 2003; Kader, 2005).

Pössel (1992) embolsó frutos de nísperos en cajas de cartón con bolsas de polietileno con y sin perforaciones durante un almacenaje refrigerado, determinando que éstas reducen la pérdida de peso de la fruta, además de otorgar una excelente presentación al cabo de 7, 14 y 21 días de almacenaje a 0 °C e indicando que, si no se usaran estas bolsas en el embalaje de nísperos, visualmente no hay grandes diferencias en cuanto a deshidratación y la fruta sigue manteniendo una buena apariencia y presentación. Además, este mismo autor señala que el hecho de usar o no bolsas de polietileno, no tiene mayor influencia sobre parámetros como el color externo, los sólidos solubles, la acidez y el pH de la fruta. Envases de polietileno tereftalato (PET) pueden ser una alternativa de embalaje para nísperos, al presentar una buena barrera a CO₂ y aceptable barrera a O₂ y humedad, además de tener propiedades de cristalinidad, transparencia y buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes y ser totalmente reciclable y aprobado para su uso en envases que deban estar en contacto con productos alimentarios (ABC-PACK, 2005; Plastivida, 2005), como el caso de la fruta.

Actualmente la exportación de nísperos se realiza por avión lo que resulta rentable sólo para la primera fruta que sale al mercado, por lo que el tipo de envase no ha tenido mayor efecto en el proceso exportador, sin embargo una posible exportación por barco, requiere de una información consistente en cuanto al comportamiento de la fruta en el período de comercialización. Hay poca información sobre el comportamiento de nísperos en diferentes tipos de envases, pudiendo cada uno de ellos afectar la calidad final del producto que llega a mercados distantes.

Este trabajo pretende evaluar el comportamiento de frutos de níspero (*Eriobo-*

trya japonica Lindl) cv. Golden Nugget almacenados en refrigeración, utilizando cuatro sistemas de embalaje, estableciendo una relación beneficio/costo en cada uno de ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de níspero cv Golden Nugget entre 70-80 g, provenientes de un huerto situado en la localidad de La Palma-Quillota, Quinta Región, Chile, fueron co-

sechados el día 13 de octubre del 2004, utilizando como índice de cosecha el color.

Luego, la fruta fue trasladada al laboratorio donde fueron tratados de manera similar a un fruto de exportación, tratando la roseta de cada fruto con aire comprimido, con el fin de eliminar individuos de *Pseudococcus* sp., así como también se rebajó el pedúnculo de los mismos. Luego los frutos fueron embalados en 4 tipos de envases (Figuras 1 y 2): Embalaje 1 (tradicional), consistente en caja de cartón



FIGURA 1. A. Embalaje 1 (tradicional). Caja cartón corrugado, bandeja alveolada, dos papeles camisas. B. Embalaje 2 Caja cartón corrugado, cuatro cestas PET.

FIGURE 1. A. Packaging 1 (Traditional), corrugated cardboard box with trays and wrapping paper. B. Packaging 2, corrugated cardboard box with 2 baskets of PET.



FIGURA 2. A Embalaje 3. Caja cartón corrugado, cuatro cestas PET, perlititas de poliestireno expandido. B. Embalaje 4. Caja de madera, bandeja alveolada, malla adhesiva.

FIGURE 2. A. Packaging 3, corrugated cardboard box with 2 baskets of PET and polystyrene. B. Packaging 4, wooden box with tray and plastic mesh cover.

corrugado de 30x50 cm, con 1 bandeja alveolada, y 2 pliegos de papeles camisas envolviendo la fruta, cada una contenía 49 frutos por caja; Embalaje 2, caja de cartón corrugado de 25x40 cm, conteniendo 4 cestas de polietileno tereftalato (PET) con sus respectivas tapas, conteniendo 24 frutos por caja; Embalaje 3 corresponde al mismo anterior al que se le agregó 7,6 g de perlas de poliestireno expandido (EPS), diámetro promedio 9 mm y; Embalaje 4. Caja de madera de 20x30 cm, con 1 bandeja alveolada y cubierta con malla plástica adhesiva, conteniendo 21 frutos por caja. Al interior de cada embalaje se introdujo un sensor marca *Temp Tale*[®], los que fueron programados para hacer mediciones cada 23 minutos, siendo la primera 23 minutos antes que entraran las cajas a la cámara.

Las cajas fueron paletizadas y la fruta se almacenó a 6 °C con 95% HR por 3 días, después de lo cual y, como una forma de emular el proceso de exportación, fueron subidas a un camión térmico (sin unidad de frío) para recorrer una distancia de 50 km, equivalente a la que hay entre Quillota y Valparaíso. Posteriormente la fruta fue retornada a las cámaras donde se evaluaron a los 0, 10, 20 y 30 días los parámetros: Pérdida de peso (%) ocupando una balanza digital marca Swiss Quality, modelo Precisa 1620; Sólidos solubles (°Brix) en jugo filtrado, utilizando un refractómetro termo compensado marca Atago; pH de jugo filtrado, ocupando un Phímetro marca Schott-Geräte; Acidez titulable (mili equivalentes de ácidos totales en 100 ml de jugo de fruta filtrado) (A.O.A.C.1980); Color de la epidermis (L^* , C^* y h° , CIELAB modificado por McGuire, 1992) ocupando un colorímetro marca Minolta CR-200.

La calidad organoléptica de la fruta, se evaluó a los 20 días y a los 30 días de almacenaje, utilizando 17 jueces, los cuales evaluaron los parámetros: apariencia externa del embalaje, apariencia externa de la fruta, aroma, consistencia y sabor utilizando una escala hedónica con los siguientes criterios: Muy agradable, Agradable, Indiferente, Desagradable, Muy desagradable.

Por otra parte, se calculó la relación

beneficio/costo de cada embalaje propuesto. Para ello, se analizaron los costos en materiales, fruta y flete aéreo (ya que es el que actualmente se utiliza), considerando éstos como costos totales para cada envase. Los valores utilizados fueron: Valor del dólar \$607,28 (promedio, Octubre 2004, según SII, 2005. Elaborado en base a información del Banco Central); US\$ 0,712 costo de producir 1 kg de nísperos. (Parés B., 2004)²; (2) US\$ 1,95/kg: costo del flete aéreo Santiago-New York (Lan Chile Cargo).

Posteriormente, este valor se relacionó con la cantidad de fruta en cada embalaje utilizado y así se obtuvo el costo kilogramo⁻¹. Finalmente, estos costos se relacionaron con el precio de venta promedio de la fruta en el mercado norteamericano el cual se estimó en US\$ 12 caja⁻¹ de 3k (De Kartzow, 2004)³. Así se obtuvo la relación entre el costo/kilogramo y el precio de venta kilogramo⁻¹, expresando los resultados como relación venta/costo.

Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 4x4 (tipo de embalaje y el tiempo de almacenaje), con tres réplicas cada uno. Cada caja embalada corresponde a la unidad experimental de este ensayo. Cuando existieron diferencias significativas de los tratamientos, se compararon las medias con el test de Tukey, $p \leq 0,05$.

Para el panel de evaluación sensorial, se aplicó el test no-paramétrico de Friedman, $p \leq 0,05$, para las fechas de evaluación 20, 30 y 40 días de almacenaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución de la temperatura en los diferentes embalajes (Figura 3) indica que el Embalaje 3, que contiene poliestireno expandido, muestra un descenso más lento de la temperatura pero, una vez alcanzadas las temperaturas de almacenaje, fue

² Ingeniero Agrónomo, Área de producción Huerto California. Comunicación personal.

³ Ingeniero Agrónomo Economista Profesor de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Comunicación personal.

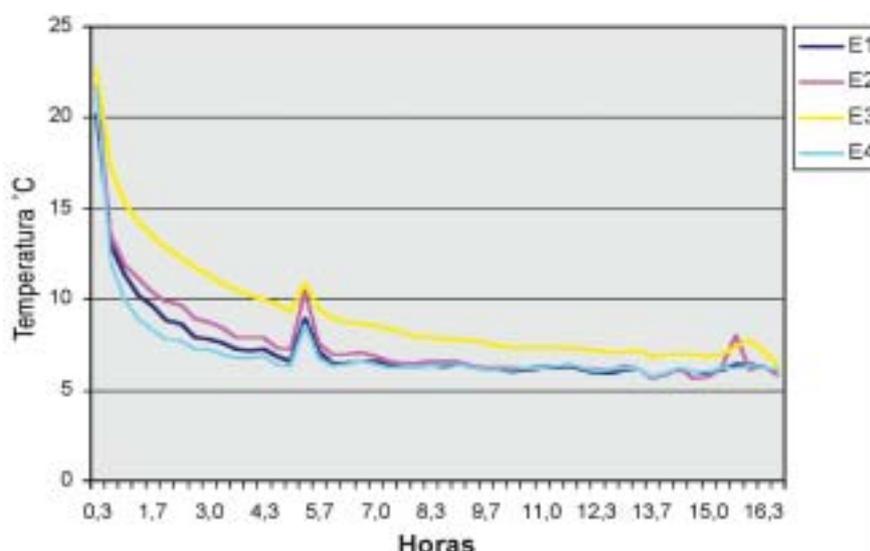


FIGURA 3. Evolución de temperaturas durante el almacenaje de Nísperos (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget. en 4 tipos de embalaje.

FIGURE 3. Evolution of temperatures in cold storage of loquats (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget in 4 packaging materials.

uno de los embalajes cuyas temperaturas fueron más estables. Esto último fue ventajoso para las condiciones de este ensayo, en que se ocupó un camión térmico sin unidad de frío para simular el viaje de transporte de la fruta (datos no reportados).

Los parámetros: % de pérdida de peso de los frutos, pH y acidez (Tablas 1, 2 y 3)

sólo se vieron influenciados por el tiempo de almacenaje, no siendo afectados ni por el embalaje ni la interacción de ellos. Estos resultados coinciden con los reportados por Henríquez (1987), Possel (1992), Chachin *et al.* (1998), Quila (2003), y Tobar (2004), quienes señalan que durante el almacenaje de nísperos ocurre una pérdida de peso, principalmente por deshidrata-

TABLA 1: Efectos del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el porcentaje de pérdida de peso en frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 1: Effect of packaging and cold storage, on weight loss percentage of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

Tipo de embalaje	Fechas de evaluación			Medias por embalaje
	10 días	20 días	30 días	
E1	0,57	2,66	3,61	2,28
E2	1,26	1,11	4,91	2,43
E3	0,77	2,55	3,92	2,41
E4	0,16	1,91	8,07	3,38
Medias por Fechas	0,69 a	2,06 a	5,13 b	2,62

Valores seguidos de una misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

TABLA 2: Efectos del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el pH en frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 2: Effect of packaging and cold storage on the pH of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

Tipo de embalaje	Fechas de evaluación				Medias por embalaje
	0 días	10 días	20 días	30 días	
E1	3,05	3,25	3,43	4,10	3,46
E2	3,10	3,22	3,63	3,98	3,48
E3	3,03	3,22	3,56	4,35	3,54
E4	3,03	3,35	3,41	4,19	3,50
Medias por Fechas	3,05 a	3,26 b	3,51 c	4,16 d	3,49

Valores seguidos de una misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$).

TABLA 3: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre la acidez titulable, (meq de ácidos totales /100 mL de jugo) en níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 3: Effect of packaging and cold storage on the acidity (meq of total acid /100 mL of juice) of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

Tipo de embalaje	Fechas de evaluación				Medias por embalaje
	0 días	10 días	20 días	30 días	
E1	1,56	0,95	0,67	0,28	0,87
E2	1,59	0,96	0,50	0,28	0,83
E3	1,84	0,93	0,51	0,20	0,87
E4	1,64	1,00	0,65	0,25	0,88
Medias por fechas	1,66 d	0,96 c	0,58 b	0,25 a	0,86

Valores seguidos de una misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$).

ción, disminuye la acidez y aumenta el pH, debido a una utilización de los ácidos, principalmente el ácido málico, como sustrato respiratorio.

Los sólidos solubles de la fruta en tanto, sí fueron afectados por el tipo de embalaje utilizado (Tabla 4), probablemente influenciado por una mayor deshidratación ocurrida en la fruta en el Embalaje 4, ya que sólo tenía una malla protectora en la parte superior de la caja. En la Tabla 1, se observa que a los 30 días de almacenaje, el Embalaje 4 mostró un 8% de deshidratación en la fruta, valor muy superior al res-

to de los tratamientos, lo que pudo influir en el aumento de sólidos solubles.

En cuanto al color de la epidermis del fruto, no hubo incidencia de los tratamientos sobre la luminosidad (L^*) ni el Cromo (C^*). Solo el Ángulo de tono (h°) fue afectado por el almacenaje (Tabla 5). Chachin *et al.* (1998), señalan que las concentraciones de criptoxantina y β -caroteno se incrementan durante los primeros 30 días de almacenaje, para luego dar paso a un pequeño cambio de color en los carotenoides de la piel, reduciendo valores de h° . Este cambio también puede estar influenciado

TABLA 4: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre los sólidos solubles (°Brix) en frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 4: Effect of packaging and cold storage on soluble solids (°Brix) of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

Tipo de embalaje	Fechas de evaluación				Medias por embalaje
	0 días	10 días	20 días	30 días	
E1	11,73	12,07	11,93	11,67	11,85 a
E2	12,20	11,40	11,47	11,47	11,63 a
E3	12,00	11,73	11,20	12,53	11,87 a
E4	12,27	13,00	12,27	13,60	12,78 b
Medias por fechas	12,05	12,05	11,72	12,32	12,03

Valores seguidos de una misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

TABLA 5: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el ángulo de tono (h°) en frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 5: Effect of packaging and cold storage on tone angle (h°) of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

Tipo de embalaje	Fechas de evaluación				Medias por embalaje
	0 días	10 días	20 días	30 días	
E1	74,48	74,26	70,51	67,57	71,70
E2	72,26	71,67	70,04	68,46	70,61
E3	71,79	72,24	71,88	68,06	70,99
E4	72,60	70,24	74,26	68,80	71,48
Medias por Fechas	72,78 b	72,10 b	71,67 b	68,22 a	71,20

Valores seguidos de una misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

TABLA 6: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el porcentaje de opiniones respecto a la apariencia externa de las cajas de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 6: Effect of packaging and cold storage on external appearance of boxes of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

	20 días				30 días			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
MA	5,9	35,3	70,6	41,2	0	35,3	35,3	17,6
A	35,3	64,7	23,5	23,5	17,6	52,9	52,9	29,4
I	52,9	0	0	17,6	35,3	11,8	11,8	23,5
D	5,9	0	5,9	11,8	41,2	0	0	23,5
MD	0	0	0	5,9	5,9	0	0	5,9
	c	ab	a	b	c	a	a	b

Valores seguidos de una misma letra, en cada periodo de evaluación, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Friedman ($p \leq 0,05$).

MA: Muy Agradable; A: Agradable; I: Indiferente; D: Desagradable; MD: Muy Desagradable.

por la pérdida de humedad ocurrida durante el almacenaje, ya que los pigmentos se concentran otorgando a la fruta un color anaranjado intenso.

El análisis sensorial mostró que los Embalajes 2 y 3 fueron preferidos por los jueces tanto a los 20 como a los 30 días de almacenaje refrigerado (Tabla 6) y su fruta alcanzó las mayores preferencias a los 30 días de almacenaje (Tabla 7). También, en esta fecha, los frutos de estos embalajes alcanzaron los mejores sabores (Tabla 8).

El aroma y la consistencia, no se vieron afectados por los embalajes en ambas fechas de evaluación (Tablas 9 y 10).

En relación a la Relación beneficio/costo (Tabla 11), se determinó que la mayor utilidad bruta kilo^{-1} correspondió al cartón corrugado con bandeja alveolada (Embalaje 1) seguido muy de cerca del embalaje de caja de cartón corrugado de 25x40 cm., conteniendo 4 cestas de polietileno tereftalato (PET) (Embalaje 2) y la menor a caja de madera con bandeja alveolada (Embalaje 4).

De acuerdo a estos resultados es posible concluir que los embalajes utilizados no muestran diferencias marcadas en la calidad de frutos de níspero almacenados a 6 °C hasta por 30 días. Los embalajes que tienen cartón corrugado de 25x40 cm, con-

TABLA 7: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el porcentaje de opiniones respecto a la apariencia externa en frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 7: Effect of packaging and cold storage on external appearance of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

	20 días				30 días			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
MA	29,4	52,9	58,8	11,8	0	17,6	23,5	11,8
A	70,6	47,1	35,3	47,1	52,9	70,6	64,7	47,1
I	0	0	5,9	35,3	23,5	11,8	11,8	35,3
D	0	0	0	5,9	23,5	0	0	5,9
MD	0	0	0	0	0	0	0	0
	a	a	a	b	c	ab	a	bc

Valores seguidos de una misma letra, en cada periodo de evaluación, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Friedman ($p \leq 0,05$).

MA: Muy Agradable; A: Agradable; I: Indiferente; D: Desagradable; MD: Muy Desagradable.

TABLA 8: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el porcentaje de opiniones respecto al sabor de frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 8: Effect of packaging and cold storage on flavour of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

	20 días				30 días			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
MA	17,6	35,3	11,8	17,6	0	5,9	17,6	35,3
A	47,1	52,9	64,7	35,3	41,2	47,1	52,9	35,3
I	11,8	5,9	17,6	23,5	29,4	17,6	17,6	17,6
D	23,5	5,9	5,9	11,8	29,4	29,4	11,8	11,8
MD	0	0	0	11,8	0	0	0	0
	a	a	a	a	b	ab	a	a

Valores seguidos de una misma letra, en cada período de evaluación, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Friedman ($p \leq 0,05$).

MA: Muy Agradable; A: Agradable; I: Indiferente; D: Desagradable; MD: Muy Desagradable.

TABLA 9: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el porcentaje de opiniones respecto al aroma de frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.
 TABLE 9: Effect of packaging and cold storage on aroma of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

	20 días				30 días			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
MA	11,8	5,9	5,9	5,9	0	0	5,9	0
A	5,9	41,2	29,4	23,5	17,6	35,3	23,5	17,6
I	82,4	52,9	64,7	70,6	82,4	64,7	70,6	82,4
D	0	0	0	0	0	0	0	0
MD	0	0	0	0	0	0	0	0
	a	a	a	a	a	a	a	a

Valores seguidos de una misma letra, en cada período de evaluación, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Friedman ($p \leq 0,05$).

MA: Muy Agradable; A: Agradable; I: Indiferente; D: Desagradable; MD: Muy Desagradable.

TABLA 10: Efecto del tipo de embalaje y tiempo de almacenaje refrigerado, sobre el porcentaje de opiniones respecto a la consistencia de frutos de níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

TABLE 10: Effect of packaging and cold storage on texture of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget.

	20 días				30 días			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
MA	47,1	35,3	35,3	23,5	17,6	29,4	29,4	23,5
A	41,2	58,8	52,9	41,2	58,8	52,9	58,8	52,9
I	5,9	5,9	0	23,5	11,8	17,6	11,8	11,8
D	5,9	0	11,8	11,8	11,8	0	0	11,8
MD	0	0	0	0	0	0	0	0
	a	a	a	a	a	a	a	a

Valores seguidos de una misma letra, en cada período de evaluación, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Friedman ($p \leq 0,05$).

MA: Muy Agradable; A: Agradable; I: Indiferente; D: Desagradable; MD: Muy Desagradable.

Tabla 11: Relación Beneficio/costo de nísperos (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget almacenados en diferentes tipos de embalajes.

Table 11: Incomes/cost relationship of loquats (*Eriobotrya japonica* Lindl) cv. Golden Nugget stored on different packaging materials.

	Kilos/caja	Costo/Caja US\$	Costo/Kilo US\$	Precio venta/kilo US\$	Utilidad bruta/kilo US\$	Utilidad %
Embalaje 1	3,00	8,50	2,83	4,00	1,17	29,25
Embalaje 2	1,60	4,93	3,08	4,00	0,92	23,00
Embalaje 3	1,60	5,00	3,13	4,00	0,87	21,75
Embalaje 4	1,05	3,31	3,15	4,00	0,85	21,25

teniendo 4 cestas de polietileno tereftalato (PET), (Embalaje 2), con sus respectivas tapas, con y sin perlititas de poliestireno

logran a los 30 días de almacenaje una mejor apariencia del embalaje y frutos así como un mejor promedio de sabor.

LITERATURA CITADA

- ABC-PACK, 2005. Cajas de cartón ondulado, (on line). www.abc-pack.com
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (A.O.A.C.) 1990. Official Methods of Analysis. 5th Ed.
- CHACHIN, K; DING, C.; HAMAUZU, Y; UEDA, Y. and IMAHORI, Y. 1998. Effects of storage temperatures on physiology and quality of loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 14: 309-315.
- FERNÁNDEZ, M.A. y CABALLERO, P. 2002. Características económicas de la producción de níspero. *Agrícola Vergel*. 248: 445-454.
- FICHET, T. y RAZETO, B. 2002. Current status of loquat in Chile. Instituto Valenciano de Investigación Agrícola 1^o simposio internacional sobre el níspero japonés. Valencia, 11-13 abril. pp 16.
- HENRÍQUEZ, M. 1987. Efecto de 4 niveles de ethephon (ácido-2-cloroetilfosfónico) en dos épocas de aplicación sobre la madurez de frutos en árboles de níspero (*Eriobotrya japonica*, Lindl) cv. Golden Nugget. Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 75p.
- KADER, A. 2005. Loquat. Recommendations for maintaining postharvest quality, (on line). <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/loquat.shtml>
- MARTÍNEZ, J. 1991. El acondicionamiento de frutas y hortalizas. *Revista Horticultura*. 72: 67-81.
- MAZZUZ, C. 1998. Envases de frutos cítricos. *Horticultura internacional*. 6 (22): 74-76.
- MCGREGOR, B.M. 1989. 1989 Tropical Products Transport Handbook. USDA, Office of Transportation, Agricultural Handbook Number 668, (on line). <http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0a.htm#>
- McGUIRE, R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27 (12): 1254-1255.
- PACKING y ENVASADO. 2004. *Agroeconómico*. 81: 24- 31.
- PAÑOS, C. 1996. El desafío de los envases de frutas y hortalizas. *Horticultura internacional*. 4 (14): 17-27.
- PLASTIVIDA. 2005. Contribución de los plásticos en la industria de la alimentación, (on line). www.plastivida.com.ar
- PÖSSEL, R. 1992. Tipos de embalaje y aplicación de difenilamina en la conservación en frío de frutos de níspero (*Eriobotrya japonica*, Lindl) cultivar Golden Nugget. Memoria de título. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 76p.
- QUILA, F. 2003. Efecto de tres temperaturas y tres períodos de almacenaje sobre el comportamiento en postcosecha de frutos de Níspero (*Eriobotrya japonica*, Lindl) cv. Golden Nugget. Taller Ing. Agr. Quillota, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 52p.
- RAZETO, B. 1988. El níspero. In: SUDZUKI, F. ed. *Frutales no tradicionales*. Santiago, Universidad de Chile. Pp: 59-70. Publicaciones misceláneas agrícolas. N°20.
- THOMPSON, A.; BATTHI, M.; RUBIO, P. 1979. Cosecha y Manejo. Fisiología de la postcosección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. México, D.F. Continental. Pp. 281-292.
- TOBAR, J.C. 2004. Efecto de la aplicación de ethephon en pre-cosecha, sobre la precocidad de madurez y la calidad comercial de frutos de níspero (*Eriobotrya japonica*, Lindl) cv. Golden Nugget, durante el almacenaje refrigerado. Taller Ing. Agr. Quillota, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 66p.