

SIMIENTE

VOLUMEN 80 (1-2) ENERO-JUNIO 2010



SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE

SIMIENTE

Fundada el 1 de Octubre de 1942

Órgano Oficial de Difusión de la Sociedad Agronómica de Chile

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

Los trabajos a presentar deben enviarse a:

Editor:

Mac Iver 120, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 2638 48 81

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

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

Referencia bibliográfica SIMIENTE

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

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

Sociedad Agronómica de Chile

Fundada el 28 de agosto de 1910

Mac Iver 124, Oficina 36, Santiago-Chile

Casilla 4109, Santiago-Chile

Fono: (56-2) 2638 48 81

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

Diseño y Diagramación:

Denisse Espinoza Aravena.

Consejo Directivo 2010

Presidente: Ljubica Galletti G. Ing. Agrónomo

Vicepresidenta: Rina Acuña R. Ing. Agrónomo

Tesorero: Marcos Mora G. Ing. Agrónomo

Secretaria: Christel Oberpaur W. Ing. Agrónomo, M Sc.

Consejeros:

Horst Berger S. Ing. Agrónomo M. Sc

Elena Dagnino D. Ing. Agrónomo

Bruno Defilippi B. Ing. Agrónomo, Ph. D.

Carolina Gálmez C. Ing. Agrónomo

Ximena López C. Ing. Agrónomo

Dr. Manuel Pinto C. Ing. Agrónomo

María Luisa Tapia F. Ing. Agrónomo, M. Sc.

ISSN: 0037-5403

SIMIENTE

Representante Legal

Ljubica Galletti G.

Ing. Agrónomo

Presidenta SACH

Directora

Elena Dagnino D.

Ing. Agrónomo

Subdirectora

Christel Oberpaur W.

Ing. Agrónomo, M.Sc

Editora

Ljubica Galletti G.

Ing. Agrónomo

Editores Asociados

Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo

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

Postcosecha y Agroindustria

Horst Berger S., Ing. Agr.

Economía Agraria y Desarrollo Rural

Rolando Chateaneuf D. Ing. Agr.

Entomología

Roberto González R. Ing. Agr. M. Sc.
Ph. D.

Control de Malezas

Marcelo Kogan A. Ing. Agr. M. Sc.
Ph. D.

Fitopatología

Bernardo Latorre G. Ing. Agr. M. Sc.
Ph. D.

Fruticultura

Jorge Valenzuela. Ing. Agr. Ph. D.

Producción Animal y Praderas

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

NORMAS DE PUBLICACIÓN

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

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

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

Una vez aceptado el trabajo, el (los) autor (es) deberán incorporar las sugerencias de los revisores y remitir CD o correo electrónico, escrito con los procesadores de texto Word, a 1½; espacio, sin sangría. Las tablas y gráficos deben enviarse en archivos separados, señalándose en el texto su ubicación. Las fotos en blanco y negro, deben enviarse por separado, adecuadamente identificadas, en papel brillante y en aplicación de 12 x 18 cm.

Se recibirán trabajos para publicar en las siguientes secciones:

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

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

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

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

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

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

NORMAS DE ESTILO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatura Citada.

Las referencias a libros, artículos, informes técnicos o trabajos de congresos o talleres deben ser listados en orden alfabético, al final del trabajo. Artículos no publicados, opiniones expertas no se incluyen en listado alfabético pero se pueden mencionar en el texto como comunicaciones personales indicando el nombre de 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. Pío-; 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, L.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 Publications. California. 360 p.

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

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

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

Pruebas

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

TABLA DE CONTENIDOS

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Comparación de diferentes métodos artesanales para la obtención de biodiesel.	1
<i>Ian Homer B. y Evelyn Hunter</i>	
Evaluación de sustratos basados en musgo (<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.) Mediante especies hortícolas indicadoras: coliflor, lechuga y tomate.	19
<i>Christel Oberpaur W., Andrea Araya A., Guillermo Délano I. y María Eugenia Arévalo P.</i>	
Adaptación metodológica para el análisis de extracto celular peciolar en vid.	37
<i>Paulina Pino; Rodrigo Callejas; Bruno Razeto y Gabino Reginato</i>	
Obtención de biogás a partir del glicerol residual de la producción de biodiesel: una revisión	47
<i>Claudia Santibáñez; María Teresa Varnero; Ian Homer; Jorge Wicha y Andrés Gálmez</i>	
Frutillas vd. Pájaro mínimamente procesadas	59
<i>Ljubica Galletti G., Horst Berger S., Carlos Lecaros V. y L. Antonio Lizana M</i>	
Efecto del microrelieve y la influencia de <i>Acacia caven</i> (Mol.) sobre la humedad de suelo y producción de materia seca de la pradera anual de clima mediterráneo: estudio descriptivo	79
<i>Luis Piña M. y Alfredo Olivares E.</i>	

COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS ARTESANALES PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

Comparison of different artisan methods to obtaining biodiesel

Ian Homer y Evelyn Hunter

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

RESUMEN

En el último tiempo, ha surgido en Chile el interés por el desarrollo de fuentes alternativas de combustible, existiendo en la actualidad diferentes grupos de investigación realizando ensayos en la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales, tanto nuevos como usados.

Estos ensayos en su mayoría están basados en criterios técnicos ya adoptados internacionalmente, pero existen en la web, múltiples aplicaciones no tan técnicas para poder realizar en la casa, bajo el concepto de “*hágalo usted mismo*”. Es dentro de este concepto que la presente investigación, dos sistemas artesanales de obtención de biodiesel (metil éster) fueron comparados, considerando siete tipos diferentes de aceites. Además, en uno de ellos, se compararon tres sistemas de lavado. Los dos sistemas para obtener biodiesel fueron: tradicional, donde el hidróxido de sodio se incorporó en una sola etapa, y mediante la aplicación en dos etapas (3/4 y 1/4 respectivamente). Los sistemas de lavado, fueron el tradicional, con tres lavados sucesivos con una pequeña cantidad de agua y un suave agitado, mientras que el segundo método fue el denominado “Método de la Universidad de Idaho” (también llamado método de las burbujas), donde agua con vinagre atraviesa el biodiesel mediante un sistema de burbujas. Además un tercer método se ensayó, al usar el método de Idazo, con solamente agua. Como

parámetros de calidad, se midieron las viscosidades cinemática y ~~como~~ dinámica, densidad, pH, índice de acidez y acidez libre.

El sistema de aplicación en dos fases presentó las viscosidades menores en cuatro de los siete aceites, en comparación con el método tradicional, aunque no se recomienda para el aceite de soya-maravilla ni para el aceite de maíz. Considerando los otros parámetros de calidad, no hay diferencias concluyentes entre los métodos, siendo el método tradicional recomendado por su simplicidad, y por su rapidez, además de presentar un consumo menor de energía para su realización en comparación con el sistema de dos fases. El biodiesel a partir de soya-maravilla obtenido con el sistema de dos etapas, presentó menor pH que el método tradicional, pero de todas maneras, ambos métodos presentaron valores superiores a 9,0, por lo cual de todas maneras deben ser lavados. En los métodos de lavado, el de la “Universidad de Idaho” generó una disminución muy grande del pH (cercano a 6,0) por lo cual, el método tradicional también es recomendado para mantener los estándares del diesel.

Keywords: Biodiesel, aceite, methyl ester, método de la Universidad de Idaho.

ABSTRACT

In this study, two home-made methods to obtain biodiesel were compared, considering seven kinds of oil. Also, in one of the biodiesel, three washing methods were compared. The two criteria to obtain the methyl ester were: traditional, with the sodium methoxid reaction in one step and; by applying sodium methoxid in two-stages (3/4 and 1/4 respectively). The washing methods were the traditional, with three steps of low volume water and gentle shaking, and "Idaho University Method" (also bubble method), where a water and vinegar mix goes through the biodiesel by an air bubble system. Also, a third method was used with only water. The cinematic and dynamic viscosity, density, pH, acidity index and free acidity were measured.

The two-phase method showed lower viscosity values in four of seven biodiesel, in relation with traditional method, and the first one is not recommended for soybean-sunflower and maize oils. Considering the other quality parameters, there are no conclusive differences between methodologies, the traditional method is recommended for its simplicity, and because it is faster and loss energy consumed than the two phase method. The soybean-sunflower biodiesel obtained by two-phase method presented lower pH value than the traditional method; nevertheless, both methods have pH higher than 9,0, so it is necessary to wash them. The "Idaho University method" to wash the biodiesel promotes the excessive diminishing of pH (close to 6,0) so the traditional method, is recommended which allows carrying out the standard of diesel.

Key words: Biodiesel, oil, methyl ester, Idaho University Method.

INTRODUCCIÓN

Criterios económicos como medioambientales han ido desarrollando en los últimos años un incremento en el interés de obtener nuevas fuentes de energía, alternativas y renovables, sobre todo que no sean contaminantes, y esos mismos criterios por el otro lado han motivado a las industrias a tomar medidas más drásticas para disminuir los contaminantes que anteriormente producían.

En Chile, existe una fuerte dependencia de proveedores externos, donde el 90% del petróleo utilizado en el país es importado. Además más del 60% del petróleo importado se utiliza en el transporte (ENAP, 2005; CONAMA, 2005), lo cual ha aumentado en más de cuatro veces en los últimos 20 años, agregando un mayor efecto en la contaminación de la atmósfera.

En los últimos años, ha habido un mayor interés para obtener nuevas fuentes de energía alternativa y reemplazable, sobre todo con bajo índice de contaminación. Uno de ello es el biodiesel, que es producida por recursos renovables como aceites vegetales u otros, y en su composición química utiliza ésteres de alquilo, metilo y etilo, que se pueden utilizar puro (B100), como mezcla o bien como aditivo. Está registrado como combustible y aditivo en la Agencia de Protección de la Atmósfera de la EPA de EEUU (Ugolini, 2001).

El biodiesel es un combustible alternativo, limpio y seguro. Además, el mismo inventor de los motores diesel, Rudolf Diesel, propuso el uso de aceite de maní durante su presentación en la Expo de Paris a principios de siglo pasado (Márquez, 1995; Dorado et al, 2003).

Además, el cultivo de terrenos no ocupados con especies energéticas puede ser una buena solución a la erosión de suelos desnudos, a la par de aspectos socioeconómicos, ya que contribuiría a incrementar la renta de los

agricultores y a generar empleo en zonas marginales (Dorado et al., 2001). Entonces, algunas especies que se dan en forma silvestre en Chile, podrían tener una utilidad desde el punto de vista económico, ya que tendrían potencial en la producción de biocombustibles.

Aunque el Estado chileno intenta producir un biodiesel con un 5% (B05), donde el 75% estará a cargo de raps (*Brassica napus*) (que no compitiera con la alimentación humana), pero también tiene un efecto, ya que se necesitan aproximadamente 120.000 hectáreas (Rojas, 2007), y eso significa que se deba competir en el uso del suelo; por dicha razón, muchos de los proyectos de investigación se dirigen hacia los biocombustibles que no compitan con los alimentos ni con el uso del suelo.

Otra fuente de materia prima es el uso de los residuos, como aceites usados, que tiene implicaciones ambientales al reutilizar un desecho, o también con potenciales materias primas para su reciclaje, ya que en Chile se ha experimentado con otros materiales tales como aceites de salmón (Reyes y Sepúlveda, 2006) y grasas y aceites animales hidrogenados (Homer y Gaete, 2009).

El empleo de biodiesel presenta una serie de ventajas, como son el mejorar la lubricación, y las condiciones de anti-explosión e incendio, presentando un rendimiento similar a las bencinas, aunque comparado con el diesel, contiene un 12% menos de energía, pero se ve compensado con un aumento del 7% de la eficiencia de combustión (Ugolini, 2001). Otra gran ventaja es que disminuye las emisiones de partículas en suspensión, como de las emanaciones, presentando una reducción entre 16 y 65%, con un valor promedio de 59%, pero con un aumento en el NO_x (Márquez, 1995). Además presenta una biodegradación mucho más rápida, semejante al azúcar.

Para que el biocombustible tenga éxito, se debe lograr que los motores no sufran grandes modificaciones, que la potencia y el consumo no

se vean muy afectados, que no presente a largo plazo problemas, por eso una de las grandes limitantes para su utilización es su elevada viscosidad (16 veces mayor que el diesel), pero con eso se pueden realizar dos cosas, adaptar el motor para esas condiciones, o adaptar el aceite para trabajar con los motores actuales (Márquez, 1995).

Las adaptaciones al motor son de tres tipos, ya sea la creación de un motor específico (motores Elsbett), la utilización de un motor con pre-cámara, los que son menos exigentes en cuanto a regulaciones (Guadilla, 1989) o bien adaptar un motor para su uso como podría ser mediante el precalentamiento del combustible a 60°C antes de la bomba inyectora como lo ha desarrollado Deutz-Fahr (Márquez, 1995).

Por otro lado, la adaptación del aceite para poder trabajar con motores diesel (en algunos casos se puede usar aceite directamente, sin transformarlo), se puede realizar de diferentes formas, aunque dos de ellas son: mezclándolo, ya sea con parafina (aceite/ parafina 20%) o aceite con gasolina y alcohol etílico (aceite mas 15% gasolina y 5% de alcohol etílico) (Homer, 2006); y por otro lado, el método más típico y tradicional es la transesterificación, llamado así, porque se parte con un éster (aceite vegetal) y se llega a otro (biodiesel), sustituyendo el alcohol del aceite vegetal (glicerol) por otro más simple (metanol o etanol). Para lo cual primero se separa el glicerol y luego se unen los ácidos grasos libres con el otro alcohol (Martínez, 2001), utilizando soda cáustica como catalizador (Figura 1).

Para llevar a cabo la reacción el aceite se debe calentar a una temperatura determinada en función del tipo de aceite, si éste es nuevo la temperatura es entre 35-42°C y si es usado entre 48-54°C. Cuando tenemos el aceite a la temperatura adecuada ésta debe mantenerse y en forma paralela mezclar el metanol con la soda cáustica mediante el agitador por un lapso de 10

minutos, con esto logramos la total disolución, a continuación procedemos a verter esta mezcla en el recipiente que contiene al aceite mientras se agita vigorosa e ininterrumpidamente, se continúa agitando y manteniendo la temperatura por una hora, tiempo suficiente para que ocurra la transesterificación.

En la transesterificación, la soda cáustica y el metanol se unen para formar metóxido de sodio ($\text{Na}^+ \text{CH}_3\text{O}^-$). Cuando se mezcla el metóxido con aceite, se rompen las uniones entre la glicerina y los ácidos grasos y éstos se unen al metanol formando biodiesel y un poco de jabón a veces. Después de eso, es necesario lavar el biodiesel, para eliminar los residuos de glicerina y compuestos ácido-base formados en el proceso. El resultado será un éster metílico o éster etílico, según el alcohol utilizado (metanol o etanol, respectivamente), aunque la expresión “biodiesel”, se utilizará solo cuando se reúnan los requisitos de un biodiesel (reglamentos), y se especifica el porcentaje de mezcla con el diesel, en otro caso es un metil éster.

La elaboración de biodiesel dentro de un concepto industrializado está bien definida, existiendo en el mercado equipos para diferentes niveles de producción, pero por otro lado, esta elaboración puede ser interesante para que pequeños productores puedan preparar ellos mismos sus combustibles. Es por eso que la Web ofrece mucha información dentro del criterio “hágalo usted mismo”, con los métodos tradicionales, y métodos alternativos para compensar ciertas dificultades o deficiencias que se presentan al elaborarlo a pequeña escala y sin la tecnología adecuada.

Dentro de este criterio “hágalo usted mismo”, se aprecian dos tendencias, una de ellas con la metodología normal (con algunas variaciones entre diferentes autores), donde se hace reaccionar el aceite con una mezcla de metanol y soda cáustica de una sola vez; la otra forma, consiste en el denominado sistema por lotes

(Kac, 2006), en donde al aceite se le agrega las tres cuartas partes del metanol y la soda cáustica en una primera etapa, se deja reposar 12h y se vuelve a calentar a la temperatura requerida y agitando se le agrega la mezcla con el resto de metanol y soda cáustica correspondiente (1/4), luego se deja reposar 12h más para que decante la glicerina, se separa de ésta y se procede a lavar.

La realización de un lavado de los aceites tiene la finalidad de disminuir el pH del biocombustible a valores neutros, en donde además hay diferentes posturas, encontrándose dos sistemas con interés. Una es la forma más normal, mediante agitación, la cual consiste en agregar un 10% del volumen del aceite de agua y agitar, pero se corre el riesgo de emulsificar; puesto que la agitación debe ser muy suave, lo que constituye una práctica muy delicada y que podría generar algún tipo de complicaciones al hacerlo en forma artesanal. En contraposición a ésta, está el otro método que es en base a aireación, al que en la web denominan “*Método de lavado de burbuja de la Universidad de Idaho*” (Kac, 2006).

Dentro de los parámetros a analizar en un combustible, los más importantes son: viscosidad, densidad, punto de inflamación, índice de cetano y velocidad de propagación en un medio de alta presión. Sin embargo, los parámetros de viscosidad y densidad son suficientes para asegurar una buena caracterización del biodiesel (Anónimo, 2006).

Las dificultades más frecuentes se relacionan con lograr un adecuado corte de las cadenas y por ende la separación de la glicerina, y posteriormente lo que puede presentar una dificultad mayor, o un procedimiento con mayor pérdida de producto, es el lavado del biocombustible, ya que un exceso de agua o de agitación provocan la emulsión de éste, con formación de jabones que no podrán separarse por decantación, perdiéndose de esa forma parte

o el total del producto ensayado. En un correcto proceso industrial, este aspecto no debería ser importante (algunos lo utilizan como control de calidad, al tomar una muestra y agitarlo con agua en un tubo de ensayo), pero si tendría importancia en producciones a baja escala o artesanales, donde es mas difícil garantizar una adecuada reacción) (Homer y Gaete, 2009).

Por esta razón, la presente investigación propone comparar dos métodos artesanales de producción de biodiesel a partir de ~~7~~siete ~~de~~ diversas fuentes de petróleo, para evaluar la calidad del biodiesel y, además, comparar los tres métodos para lavar el biodiesel de forma artesanal

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio - Taller de Mecanización Agrícola, perteneciente al Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicado en el Campus Antumapu, comuna La Pintana, Santiago, Chile.

Para la obtención del biodiesel se utilizaron 7 tipos de aceite:

- Aceite nuevo de la marca comercial Granada (origen Argentina) compuesto por aceite vegetal de soya y maravilla en porcentajes no determinados.
- Aceite usado de la marca comercial Granada, proveniente del casino del Campus Antumapu. (Universidad de Chile)
- Aceite 100% maravilla marca Chef
- Aceite 100% oliva marca Chef
- Aceite 100% pepita de uva marca Chef
- Aceite 100% maíz marca Chef
- Aceite oliva-maravilla en porcentajes no determinados marca Chef

Los compuestos químicos para la transesterificación fueron metanol adquirido a Simiente 80(1-2)1-18

laboratorios de productos químicos y soda cáustica adquirida en supermercado.

La agitación del metóxido de sodio se realizó en un agitador magnético HEIDOLEH (1250rpm), mientras que las de aceite a transesterificar (2500cc) se agitaron en matraces de 3000cc, con un agitador mecánico (aspas) GRIFFIN & GEORGE, sobre una plancha de calefacción BARNSTEAD THERMOLYNE.

La decantación se realizó con decantadores de 250 cc y de 500 cc.

El control de temperatura fue mediante la utilización de un termómetro digital (JUMO). Para precalentar las muestras se empleó un horno a 70°C.

Para el lavado del biodiesel con el “Método tradicional” se utilizaron bidones de 5 litros de capacidad y agua.

Para el lavado del biodiesel con el “Método de la Universidad de Idaho” se utilizaron 2 bombas de acuario (0,01MPa y 1,5 L min⁻¹) conectadas a piedras difusoras que se instalaron al fondo de un contenedor de vidrio. Se utilizó una mezcla de agua y vinagre con un pH de 4,1.

Métodos

Elaboración biocombustible

Para la elaboración del biocombustible se realizaron tres experimentos de preparación de biodiesel, siendo dos de ellos los principales de este experimento, los cuales están relacionados a la transesterificación, en donde, a siete tipos distintos de aceites se le realizaron dos metodologías de transesterificación, una tradicional y otra “*por lotes*”, siendo la base del proceso la misma para ambas.

Para el ensayo de transesterificación normal, se realizaron ensayos con 0,25 litros de aceite, para

lo cual se elaboró metóxido de sodio mediante la agitación durante 10 minutos de 50cc de metanol (20%) y 0,813 ó 1,563 gr soda cáustica (3,5 gr.L⁻¹ para aceites nuevos y 6,25 gr.L⁻¹ para aceites usados).

Simultáneamente el aceite fue calentado a 35-42 °C para aceites nuevos y a 48-54°C para aceites usados, y se aplicó el metóxido al aceite, siendo agitado en el momento de la aplicación y posteriormente durante 1 hora. Posteriormente se dejó reposar en un decantador durante la noche para decantar la glicerina y permitir de esa forma separarla del metileéster (Figura 2).

En la elaboración por lotes el procedimiento es el mismo, la única diferencia es que se hace en dos etapas, en la primera se aplica solo $\frac{3}{4}$ del metóxido de sodio y después de la decantación, se vuelve a repetir con el metil éster el procedimiento utilizando el $\frac{1}{4}$ restante.

Las variables evaluadas fueron: viscosidad cinemática y dinámica de acuerdo a NCh1950 (INN, 1985), la densidad de acuerdo a NCh822 (INN, 2002), pH, índice de acidez y acidez libre (expresado como porcentaje de ácido oleico). La viscosidad se obtuvo mediante la viscosidad aparente a través de un viscosímetro de Ostwald y la densidad se midió por medio de la utilización de un picnómetro.

El pH se midió con un potenciómetro manual calibrada con un tampón (pH 7,0 y pH 10,0) solución.

Para determinar el índice de acidez y la acidez libre o grado de acidez, la disolución de la muestra se realizó en una mezcla de disolventes y valoración de los ácidos grasos libres mediante una solución de etanol de hidróxido de potasio, usando fenolftaleína como indicador. Los reactivos utilizados fueron: mezcla de éter etílico 01:01 etílico alcohol neutralizado, solución de etanol de KOH 0,1 N y fenolftaleína alcohólica al 1%. Las propiedades del biodiesel elaborado en

comparación con las propiedades del aceite diesel y aceites sin transesterificación.

Aparte, se realizó un tercer ensayo, en que se realizaron dos tipos de mezclas para disminuir la viscosidad del aceite, en el cual en un aceite soya-maravilla se mezcló en las relaciones: aceite y parafina (20%) y con aceite mas gasolina y alcohol etílico (15% de gasolina y 5% de alcohol etílico).

Por ultimo, los datos obtenidos se compararon con el petróleo diesel comercial, obtenido en la ciudad de Santiago.

Lavado biocombustible

Se compararon tres metodologías de lavado del combustible: método tradicional y el "*método de lavado de la burbuja de la Universidad de Idaho*" en dos versiones diferentes. En el método tradicional, se aplica 10% del agua sobre la base del volumen de biodiesel, y se agita después a baja velocidad durante 4 minutos. Luego se deja decantar durante la noche. Al día siguiente, el agua se extrae por medio de succión. Repitiendo este procedimiento dos veces más, para asegurar un buen lavado. Al final del proceso de lavado, para extraer los restos de agua en el metil éster, se calentó lentamente a 100 ° C, manteniendo esta temperatura hasta que es evidente que no se formen burbujas, lo que indica la ausencia de agua.

En el *método de la burbuja* (Kac, 2006), las burbujas se forman haciendo pasar aire comprimido a través de un difusor, utilizándose una pequeña bomba de aire y una piedra de la burbuja de acuario. Se colocó en un recipiente en una proporción 1:1 el biodiesel a lavar, y una mezcla de agua- vinagre, donde el vinagre se utiliza para neutralizar el pH del biodiesel. La cantidad de vinagre que debe tener esta mezcla, debe ser tal, que el pH de la solución de agua con vinagre debe ser tantos puntos bajo pH 7, que los puntos sobre pH 7 que tiene el metil éster, en esta prueba una solución de pH 4.1 fue utilizado para un metil éster con un pH 9.9.

El agua en una solución de vinagre tiene una densidad más alta que la de metil-éster, por lo que se queda en la parte inferior del tanque de lavado, donde se encuentra la piedra difusora. Las burbujas de aire suben, pasando primero por la mezcla agua-vinagre y luego el biodiesel. Cada burbuja permanece cubierta por una delgada capa de la mezcla y ~~la~~ se eleva a través del metil-éster, lavándolo en el camino. Cuando la burbuja sale a la superficie, ésta explota y deja una pequeña gota de mezcla que regresa a la parte inferior, cruzando de nuevo el metil-éster y lavando de nuevo. Este proceso dura 6 horas, por lo que un lavado es suficiente. Para la presente investigación, también un baño de burbujas se puso a prueba, utilizando solamente agua, sin vinagre.

Las variables evaluadas fueron: pH, el índice de acidez y acidez libre, que fue titulada con hidróxido de sodio y fenolftaleína como tinte, medidos antes y después de cada lavado.

Para la prueba de lavado, se prepararon 30 L de metil-éster con aceite nuevo de soja- maravilla. Para cada uno de los tres métodos, se realizaron tres repeticiones de 3 litros de éster metílico (biodiesel). Se determinó la acidez antes y después de cada lavado.

Estadísticas

Para la comparación de las propiedades evaluadas, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y donde se encuentran diferencias significativas, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades iniciales de los aceites ensayados, se presentan en el cuadro 1, junto con los datos del diesel, para comparación y análisis como posible materia prima en la producción de biodiesel.

La densidad, si bien es tan sólo un 9 a 11% mayor en los aceites respecto al diesel, se traduce en una elevada viscosidad, en promedio 10 veces mayor que el diesel, siendo ésta la principal limitante del uso de los aceites en motores de combustión interna. Si se comparan a modo general las diferentes metodologías (cuadro 2), se obtiene que mediante la transesterificación se logra disminuir la viscosidad, alcanzando un valor de sólo el 19% mayor, pero las mezclas del aceite con elementos que ayudan a su disolución (gasolina y etanol, o bien parafina) no son tan efectivas como la transesterificación, 3 a 4 veces mayor respecto al diesel.

El aceite mezcla de soja y maravilla es el que posee el pH más cercano a neutro, aún después de usar; sin embargo, en el proceso de transesterificación se espera un aumento importante del pH. Todos los aceites poseen niveles de acidez no recomendados para el biodiesel como producto, por lo que en su obtención es prioritario neutralizar dicha acidez. Destacan los niveles de acidez del aceite que ha sido utilizado, más de 10 veces mayor que las fuentes sin usar, a excepción de las muestras que poseen aceite de oliva en su composición, cuya acidez también es elevada, aunque lejos de los niveles del aceite usado.

El Cuadro 3 presenta las comparaciones entre métodos de obtención para las distintas fuentes de aceite, donde se utilizan como parámetros la densidad y viscosidad.

En cuanto al método de obtención, la transesterificación por lotes busca maximizar el uso del catalizador, aplicando $\frac{3}{4}$ de la cantidad de soda cáustica requerida en una primera etapa, y repitiendo el proceso de agitación con el remanente. El método es más largo y consume mayor energía, por lo que se esperaba que los parámetros de evaluación de la calidad del biodiesel fueran mejores que en el método tradicional, sin embargo esto no ocurrió.

Tanto la viscosidad como la densidad son índices sensibles a la metodología de obtención del biodiesel, aunque en su conjunto no marcan una tendencia clara. Buscando la menor densidad, el método por lotes sería recomendable para el aceite soya-maravilla y el aceite de oliva, mientras que el método tradicional sería recomendable para procesar el aceite de maíz. Sin embargo, analizando la viscosidad, el método por lotes no se recomienda para el aceite soya-maravilla, en cualquiera de su forma (nueva o usada) ni para el aceite de maíz, pero sí para el resto de los aceites. Indistintamente de esto, todos los parámetros descienden a valores similares a los del diesel, y poseen valores comparables al biodiesel obtenido por otras fuentes, como lo es *Brassica carinata*, para la cual se ha descrito un rango de densidad de 0,86 a 0,89 g cm⁻³ y valores de viscosidad de 3,5 a 5,0 cSt (Dorado et al., 2001).

El proceso de transesterificación no implica un descenso apreciable de la densidad, resultando todos los biodiesel en valores mayores al 95% respecto de la densidad del aceite original. El principal cambio, y que es el que le da la alta potencialidad de uso al producto como fuente de energía para motores de combustión interna, es la viscosidad. Ésta varía en un rango que va del 8,3% respecto al valor original, y que lo presentó el biodiesel obtenido por el método tradicional utilizando aceite usado, hasta un 14% para el biodiesel obtenido a partir de aceite de maíz y utilizando la metodología por lotes.

El Cuadro 4 presenta los parámetros de acidez y pH, comparando para cada fuente de aceite el método de obtención del biodiesel.

Antes de la obtención del biodiesel, el aceite usado y las dos fuentes con aceite de oliva poseían valores de acidez mayores al resto de los aceites (Cuadro 1), una vez realizado el proceso de transesterificación las diferencias tendieron a desaparecer (Cuadro 4). Tal como se indicó anteriormente, existe un aumento considerable

del pH, dado por la generación de glicerol como producto secundario y por los remanentes de soda cáustica y metanol que no participan de la reacción (Canakci y Van Gerpen, 1999). Salvo en el pH del aceite soya-maravilla sin usar, no existen diferencias estadísticas significativas al comparar los dos métodos de obtención. El objetivo del método por lotes es maximizar la reacción de la soda cáustica, de manera tal de favorecer un lavado más fácil y eficiente para disminuir el pH. Al tener un pH estadísticamente menor al método tradicional, pero aún sobre un valor 9,0, no justifica el método por lotes como alternativa de obtención de biodiesel, ya que no presenta ventajas comparativas relevantes con respecto al método tradicional.

Ambos métodos son efectivos en reducir la acidez inicial, la que cae a valores de entre un 0,37 y un 7% de los valores originales de los aceites, y que se encuentra dentro de los rangos exigidos por la normativa europea FAME prEN (CEN, 2000) que limita el índice de acidez (IA) a valores menores a 0,5 mg KOH g⁻¹. Los mayores descensos relativos del IA correspondieron al aceite usado y al aceite de oliva, resultando en valores 0,37% y 0,66% del valor original del aceite sin transesterificar.

Si se consideran las propiedades sensibles al método de obtención del biodiesel, es decir, pH, densidad y viscosidad, y se analizan las fuentes de aceites como una única población, se puede obtener un resultado general que compare ambas metodologías de obtención, resultado que presenta el Cuadro 5.

El método por lotes presenta ventajas sólo en los valores de pH, los que, si bien resultan significativamente menores respecto al método tradicional, presentan un nivel aún alto previo al lavado, por lo que esta ligera ventaja no justifica el uso del método por lotes, el que consume más tiempo y recursos, ya que considera dos eventos de agitación. Pensando que la separación de

fases (Figura 2) debiese ser más efectiva con grandes volúmenes de biodiesel, se hace necesario estudiar otros aspectos en su obtención, como lo son volúmenes de decantación, diseño del decantador y proceso de separación de fases, cantidad de reactivos y tiempo de agitación. Con respecto a la densidad y la viscosidad, al considerar los aceites en su conjunto (Cuadro 5), no se presentan diferencias significativas entre métodos de obtención del biodiesel, por lo que las posibles eficiencias de una u otra metodología, dependerán del tipo de aceite.

Tal como se comentó anteriormente, el biodiesel presenta el inconveniente de que aunque se deja decantar, en el metil-éster aún hay restos de metanol y de soda cáustica, por lo cual el pH es muy alcalino (mayor a 9, cuadro 4), lo que podría provocar daño en los motores. Es por esa razón que el aceite debe ser limpiado o lavado para extraer los restos de soda cáustica y llevar el pH a valores neutros. El proceso de lavado es uno de los que provoca mayores pérdidas de biodiesel realizado en forma artesanal, ya que si no queda bien preparado el exceso de agua o de agitación en el lavado, provoca la emulsión de éste (Figura 3), con formación de jabones que no pueden separarse por decantación. Teniendo presente este problema, se evaluaron tres métodos de lavado, utilizando el biodiesel obtenido del aceite soya-maravilla sin usar. Los resultados de los parámetros de acidez se presentan en el Cuadro 6.

En el método por burbujas realizado con una solución de agua y vinagre, el lavado provoca un descenso excesivo del pH, resultando en un valor significativamente menor respecto a los otros dos métodos. Como el método de burbujas considera un lavado de 6 horas, bastaría disminuir el tiempo de lavado para obtener un pH más cercano a neutro. Es por eso que se realizó un tercer lavado, igual al “Método de la Universidad de Idaho”, pero sin vinagre. Sin embargo, esta estrategia no asegura resultados satisfactorios en los niveles de acidez, donde

ninguno de los métodos de burbujas produce cambios con respecto a la condición previa al lavado. El método de lavado tradicional, junto con disminuir el pH a niveles aceptables para el uso del biocombustible en motores de combustión interna, disminuye la acidez, resultando en valores significativamente menores respecto al lavado por burbujas. Este resultado puede deberse a que el proceso de neutralización del pH depende exclusivamente del agua, por lo que un estado de agitación permanente provoca una mejor mezcla agua-biodiesel. El método de burbujas no necesariamente genera una interfase de agua entre la burbuja de aire y el biodiesel, y aunque así lo fuere, el volumen involucrado en la limpieza es menor que en una burbuja de agua. Otra desventaja que presenta el método de burbujas es que enmascara una reacción incompleta en la transesterificación, ya que no forma emulsión, como sucede en el método tradicional.

Si se utiliza el método de burbujas para el lavado del biocombustible éste debe usarse lo más pronto posible, ya que tiene muy poca estabilidad de oxidación, con lo que favorece la polimerización de los ácidos grasos insaturados. Si bien el método tradicional considera realizar el lavado tres veces, se requiere menos tiempo de agitación y utiliza menos agua que el método por burbujas, por lo que, junto con la ventaja de generar un biodiesel de mejor calidad, se dan ventajas de carácter práctico. Sin embargo, tal como se presenta en la Figura 4, es necesario analizar el efecto aditivo de cada uno de los lavados.

El método de lavado tradicional es efectivo en reducir el pH del biodiesel, tanto así que basta un lavado para generar reducciones de pH de un 30%, no siendo significativos los aportes de los siguientes lavados. La reducción de pH del biodiesel se manifiesta en un incremento del pH del agua de lavado, aunque en magnitudes mucho menores, resultando en niveles no

riesgosos para el ambiente. Ambos parámetros de acidez disminuyen, tanto para el agua de lavado como para el biodiesel, lo que también contribuye a minimizar los riesgos ambientales al verter el agua de lavado hacia el sistema sanitario.

Si bien el pH se estabiliza con el primer lavado, los parámetros de acidez siguen cambiando con los sucesivos eventos, presentando disminuciones de aproximadamente 30, 50 y 56% respecto a la condición inicial del biodiesel, cambios que no se apreciaron en el lavado por el método de burbujas. La Figura 3, que presenta el porcentaje relativo respecto a la condición previa al lavado, refleja mejor estos cambios.

Como ya se indicó, el pH logra valores adecuados para su uso con el primer lavado. Por su parte, el Índice de Acidez (IA) presenta reducciones de un 30, 20 y 7% con los lavados 1, 2 y 3, acumulando una reducción total de un 57% respecto a la condición sin lavar. Es lógico pensar que un cuarto lavado, junto con provocar un cambio nulo del pH, disminuirá el IA en una magnitud no significativa, menor al 7%, por lo que prácticamente serían necesarios dos lavados para obtener un metil-éster óptimo para su uso. Resulta interesante estudiar más a fondo si la reducción del IA del segundo lavado se justifica en términos prácticos y en cuanto a la calidad del metil-éster, ya que si el objetivo central es la disminución del pH, bastaría un único lavado para obtener resultados satisfactorios.

Finalmente, considerando que el método tradicional de obtención de metileéster es el más recomendado, se realizó una comparación de las propiedades relevantes del metil-éster en función de la fuente de aceite. Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

Si bien los parámetros de dispersión varían según la fuente de aceite (Cuadros 3 y 4), el aceite usado es el que presenta la mayor desviación estándar (DS) en los parámetros seleccionados en el Cuadro 7. Por tal motivo se

eliminó del análisis, ya que su alta variabilidad en los resultados no permitió cumplir con el requisito de igualdad de DS exigido por el ANDEVA. Esta situación es lógica si se piensa en las variables que pudo tener el aceite (distintos tiempos de uso, temperatura y alimentos a freír), por lo que una correcta caracterización de aceites usados requerirá de un mayor número de muestras.

En cuanto a los aceites nuevos, el pH no presenta diferencias estadísticas significativas, con rangos de pH de 9,66 a 9,89, lo que facilita la estandarización con un único protocolo de lavado, sin tener variaciones en las metodologías en función de la fuente. Esto facilita el manejo, ya que se pueden producir cantidades de metil-éster de distintas fuentes de aceite, para después generar un lavado común, incluso mezclando los distintos productos. Si bien existen diferencias estadísticas significativas para la densidad, éstas no son relevantes, por cuanto, como se observó en el Cuadro 1, la densidad de los aceites originales no es mucho mayor a la del diesel, y el proceso de transesterificación resulta en disminuciones de densidad que en promedio son un 5% de la densidad original (Cuadro 3).

El parámetro relevante está dado por la viscosidad, que presenta disminuciones importantes respecto a las propiedades del aceite (Cuadro 3). En este sentido, dentro de los aceites estudiados, los aceites de oliva-maravilla, pepita de uva y maíz, corresponden a las fuentes que resultan en menores viscosidades, por lo que son más recomendables para la fabricación de metil-éster. Aunque todos están dentro de propuesta del reglamento del metil-éster, la decisión final de su uso, lógicamente, pasa por un análisis económico para evaluar la eficiencia de obtención de aceite, disponibilidad en el mercado, resultado económico para el agricultor y usos alternativos, entre otros.

Resulta llamativo que las mayores viscosidades las presenten los metil-éster obtenidos a partir

de aceites de oliva y maravilla procesados por separado, pero que al estar mezclados se obtenga la menor viscosidad; así mismo, llama la atención que el metil-éster de aceite de oliva presenta la menor densidad y la mayor viscosidad entre las fuentes analizadas. Estos aspectos abren nuevos caminos de investigación en la producción de metil-éster a partir de aceites vegetales.

CONCLUSIONES

Al comparar los dos métodos artesanales para la obtención de metil-éster, no existen diferencias concluyentes entre las metodologías. Se recomienda el método tradicional, en el que se realiza una única aplicación del metóxido de sodio, respecto al método por lotes, en que se realiza la transesterificación en dos etapas (con $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{4}$ del metóxido, respectivamente), ya que el método tradicional es más sencillo y rápido que el método por lotes.

Desde el punto de vista económico es más rentable el método tradicional, ya que el método por lotes tiene un doble gasto de energía y tiempo.

Si bien el método por lotes presenta una ligera ventaja al obtener un metil-éster (soya-maravilla) con menor pH, lo que podría acortar el tiempo de lavado, los niveles de pH se encuentran en valores superiores a 9,0, por lo que necesariamente se debe lavar. En el resto de las propiedades analizadas no se presentan diferencias significativas ni tendencias claras entre los métodos de obtención del metil-éster.

Al analizar la calidad del metil-éster, los productos obtenidos a partir de aceites de oliva-maravilla, pepita de uva y maíz, presentan los menores valores de densidad y viscosidad, por lo que son recomendables para su uso en motores de combustión interna.

En cuanto al lavado del metil-éster, el método de burbujas de la Universidad de Idaho genera disminuciones excesivas del pH, particularmente cuando junto con el agua se aplica vinagre. El método de lavado tradicional es más sencillo y rápido, obteniéndose un pH dentro de las normas de metil-éster y parámetros de acidez menores que con el método de burbujas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer el Departamento de Investigación de la Vice Rectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile, por su apoyo a este proyecto de investigación (REIN 01/2005).

BIBLIOGRAFÍA

ANÓNIMO, 2006. Haz tu propio biodiesel. Disponible en http://journeytoforever.org/es/biodiesel_fabricar.html#1mixing (Visitado, Marzo 2006).

CANAKCI, M. Y VAN GERPEN, J. 1999 Biodiesel production via acid catálisis. Transactions of the ASAE 42 p1203-1210.

CEN. 2000. Draft of generally applicable requirements and test methods for 5% and 100% FAME. Reino Unido: CEN/TC 19/WG 24 N214.

CONAMA, 2005. Temas ambientales, aire. Disponible en: <http://www.conama.cl> Publicado el 10-05-2005. Consultado el 19-11-2006.

COPEC, 2006. Combustibles. Disponible en <http://www.copec.cl>. Consultado el 13-09-2006.

DORADO, MP.; BALLESTEROS, E.; LÓPEZ, FJ. 2001. Ester metílico de aceite de *Brassica Carinata* como combustible para motores diesel. 1er Congreso Nacional de Ingeniería para la

agricultura y el medio rural
AGROINGENIERIA 2001, 19-21 Septiembre
2001, Valencia. España (paper AG01 0103).

DORADO, MP.; ARNAL, JM., GÓMEZ, J.;
BALLESTEROS, E.; LÓPEZ, FJ. 2003.
Funcionamiento de un motor diesel al utilizar
biodiesel de aceite de oliva recalentado como
combustible. 2º CONGRESO DE LA SOCIEDAD
DE AGROINGENIERÍA, Córdoba, septiembre
de 2003.82-87 p.

ENAP. 2005. Transporte Urbano. Disponible en:
www.enap.cl Consultado el 13-09 -2006.
Publicado el 30-11-2004.

KAC, A. 2006. Adaptación a dos etapas de la
fórmula de Mike Pelly. Disponible en
<http://journeytoforever.org/energiaweb/aleks.htm>
(visitado, Marzo, 2006).

GUADILLA, A.1989. Tractores, mecánica,
reparación, mantenimiento. Ediciones CEAC,
Barcelona, España 707p.

HOMER, I. 2006. Motores y Biocombustibles. pp.
149-164. In: Acevedo, E. (Ed), Agroenergía. Un
desafío para Chile. 176 p.Serie agronómica N°
11..

HUNTER, HOMER, I., Y GAETE, R. 2009,
Informe final Obtención biodiesel a partir de

grasas animales y aceites modificados. 50p.
Universidad de Chile-Pullman Bus.

MÁRQUEZ, L. 1995. Los biocarburantes:
Limitaciones y perspectivas. In: Instituto de
Ingenieros de España, Energías Renovables.

MARTÍNEZ, R. 2001. Combustibles vegetales
Los hederemos del gasoil. Revista Super Campo.
VII, N°78.

-NCh822. Of2002 Petróleo crudo y productos
líquidos de petróleo - Determinación de
densidad, densidad relativa y gravedad API -
Método del densímetro.

NCh1950.Of1985 Productos de petróleo -
Líquidos transparentes y opacos -
Determinación de la viscosidad cinemática y
cálculo de la viscosidad dinámica.

REYES, J.F. AND M.A. SEPULVEDA. 2006. PM-
10 emissions and power of a Diesel engine
fueled with crude and refined Biodiesel from
salmon oil. Fuel 25(12-13):1714-1719.

Rojas, A. 2007. Gobierno impone uso de raps
para producir biodiesel en Chile. Diario La
Tercera. 23-05-2007.

UGOLINI, G. 2001. Combustibles vegetales,
nuevo rol para la agricultura. Revista Super
Campo. VII, N°78.

ANEXOS

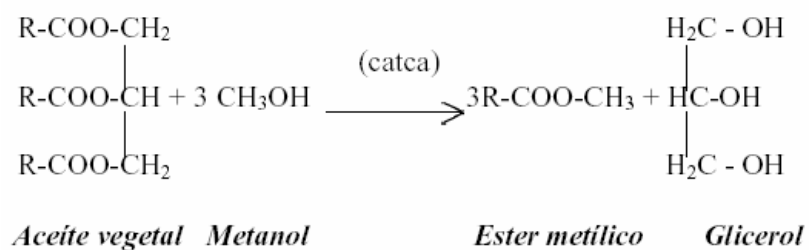


Figura 1. Reacción de transesterificación

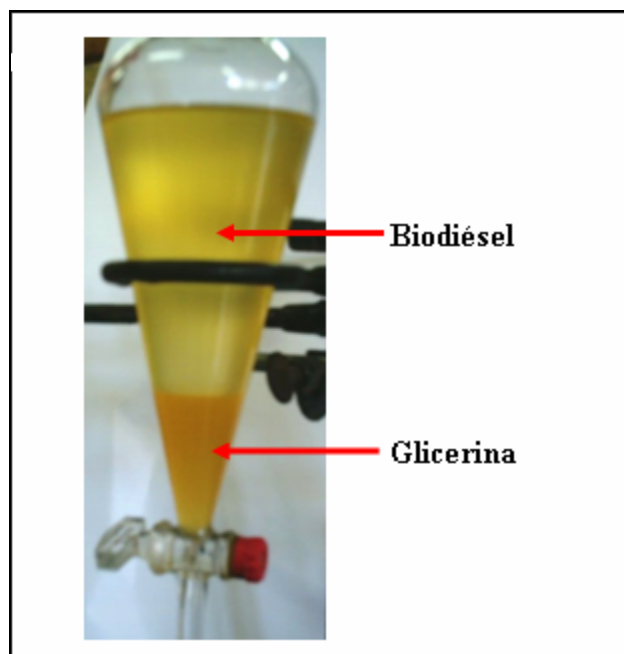


Figura 2. Separación de las fases para un biodiesel.

Figure 2. Biodiesel separation phases.

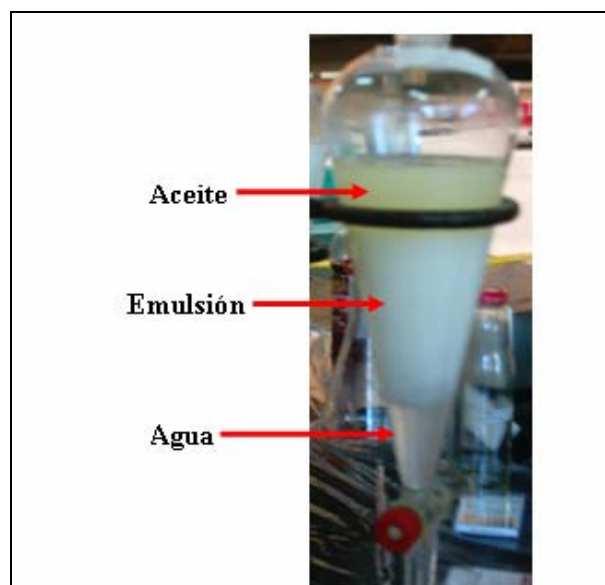


Figura 3. Biocombustible emulsificado por exceso de agitación en el lavado.
Figure 3. Biodiesel emulsified by excess of agitation in the washing.

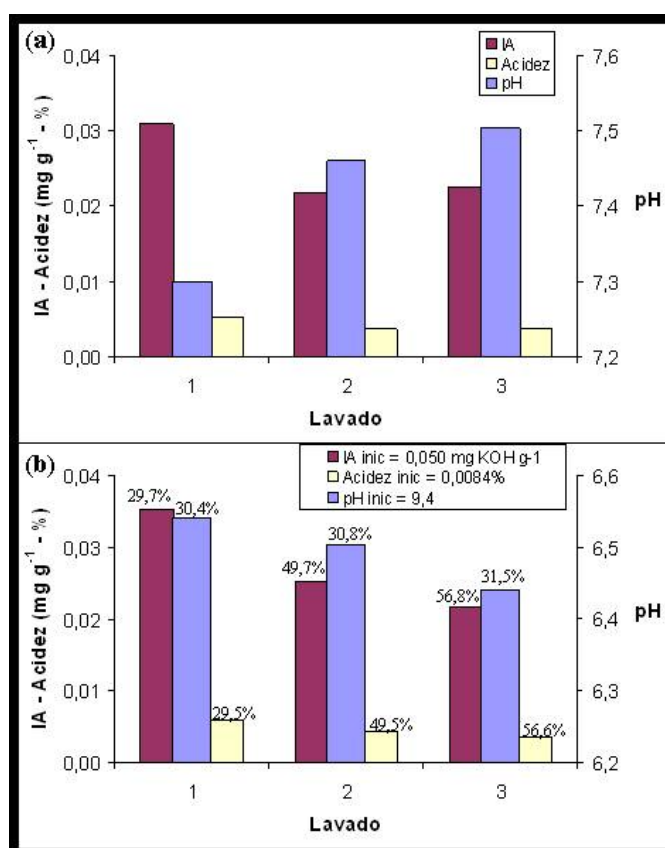


Figura 4. Variación en el tiempo de las propiedades del (a) agua y el (b) metil-éster con los sucesivos lavados. En el metil-éster (b) se incluyen los porcentajes acumulados de cambio respecto al valor inicial previo al lavado.

Figure 4. Variation in the time of the properties of the water (a) and methyl ester (b) with the successive washings. In the methyl ester are included the initials values, and accumulated percentage of change with respect the initial value.

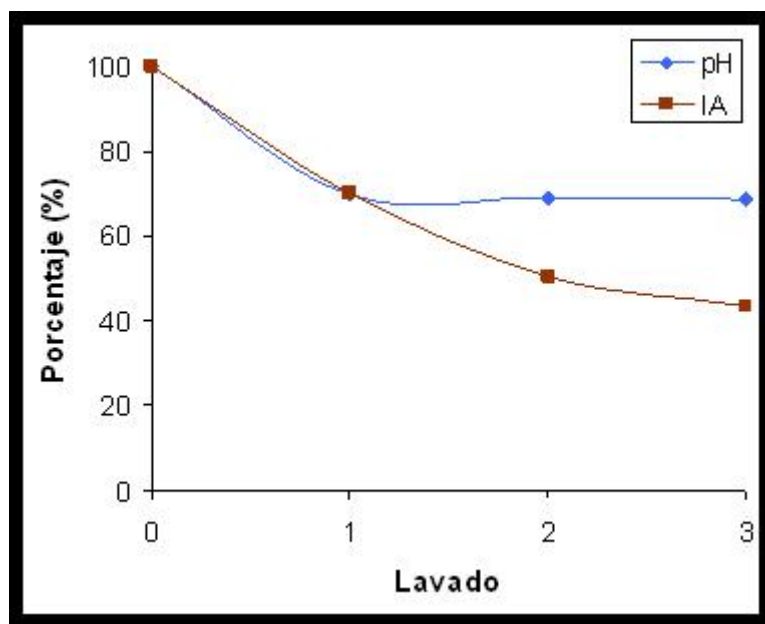


Figura 5. Porcentaje relativo de los parámetros del metileéster con respecto a la condición inicial previa al lavado.

Figure 5. Percentage relative of the parameters of the methyl ester with respect the initial condition

Cuadro 1. Principales características de los aceites seleccionados y del diesel. Promedio de tres repeticiones.

Table 1. Main characteristics of selected oils and the diesel engine

Aceites	Viscosidad dinámica (cP)	Viscosidad cinemática (cSt)	Densidad (g cm ⁻³)	pH	IA (mg KOH g ⁻¹)	Acidez (%)
Soya- Maravilla	24,54	26,95	0,9106	6,06	1,103	0,1860
Pepita de Uva	26,61	28,93	0,9198	4,60	0,902	0,1523
Maíz	26,82	29,25	0,9168	4,48	1,053	0,1772
Maravilla	25,48	27,75	0,9179	4,20	0,802	0,1349
Oliva	30,35	33,27	0,9123	3,89	4,661	0,7823
Oliva-Maravilla	27,72	30,19	0,9183	4,85	1,383	0,2333
Soya-Maravilla usado	32,33	34,95	0,9252	5,47	13,362	2,2456
Diesel*	2,53	3,02	0,8361			

*Según D.S. N°58 del 29 de Enero de 2004.

Cuadro 2. Comparación de las viscosidades obtenidas en un aceite nuevo versus el diesel (100%).
Table 2.. Comparison of viscosity obtained by way of new oil deal with respect to diesel (100%).

Aceite	Viscosidad %
Aceite nuevo	892,0
Aceite transesterificado (metil ester)	119,6
aceite+20% parafina	458,6
aceite+15% gasolina+ 5% alcohol etilico	345,0
Diesel	100,0

Cuadro 3. Densidad y viscosidad del metil-éster obtenido a partir de distintas fuentes de aceite. Valores promedios seguidos de $\pm$ DS antes del lavado.

Table 3. Densidad and viscosity of the methyl ester obtained from different oil sources.

Aceite	Método de obtención	Densidad (g cm ⁻³)	Viscosidad cinemática (cSt)	Viscosidad dinámica (cP)
Soya-Maravilla	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8842 ($\pm 0,0005$) a	3,61 ($\pm 0,016$) a	3,20 ($\pm 0,016$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8824 ($\pm 0,0004$) b	3,84 ($\pm 0,103$) b	3,38 ($\pm 0,090$) b
Pepita uva	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8807 ($\pm 0,0002$) a	3,55 ($\pm 0,088$) a	3,13 ($\pm 0,078$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8810 ($\pm 0,0002$) a	3,44 ($\pm 0,032$) a	3,03 ($\pm 0,029$) a
Maíz	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8807 ($\pm 0,0040$) a	3,55 ($\pm 0,083$) a	3,13 ($\pm 0,088$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8871 ($\pm 0,0019$) b	4,39 ($\pm 0,098$) b	3,89 ($\pm 0,090$) b
Maravilla	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8817 ($\pm 0,0013$) a	3,94 ($\pm 0,042$) a	3,47 ($\pm 0,037$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8799 ($\pm 0,0007$) a	3,73 ($\pm 0,038$) b	3,29 ($\pm 0,035$) b
Oliva	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8763 ($\pm 0,0011$) a	4,35 ($\pm 0,038$) a	3,81 ($\pm 0,038$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8713 ($\pm 0,0027$) b	4,28 ($\pm 0,013$) b	3,73 ($\pm 0,023$) b
Oliva-Maravilla	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8789 ($\pm 0,0005$) a	3,47 ($\pm 0,048$) a	3,05 ($\pm 0,043$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8787 ($\pm 0,0003$) a	3,31 ($\pm 0,053$) b	2,91 ($\pm 0,048$) b
Soya-Maravilla usado	Tradicional ($\frac{3}{4}$)	0,8804 ($\pm 0,0016$) a	3,05 ($\pm 0,144$) a	2,68 ($\pm 0,132$) a
	Por lotes ($\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$)	0,8816 ($\pm 0,0008$) a	3,36 ($\pm 0,034$) b	2,96 ($\pm 0,032$) b
Diesel		0,8361	3,02	2,53

Para un mismo aceite, letras distintas en las columnas denotan diferencias estadísticas significativas entre métodos de obtención (Duncan, $\alpha \leq 0,05$)

Cuadro 4. Parámetros de acidez del metil-éster obtenido a partir de distintas fuentes de aceite. Valores promedios seguidos de $\pm$ DS antes del lavado.

Table 4. Parameters of acidity of the methyl ester obtained from different oil source.

Aceite	Método de obtención	pH	Índice de Acidez (mg KOH g ⁻¹)	Acidez (%)
Soya-Maravilla	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,89 ($\pm 0,24$) a	0,053 ($\pm 0,026$) a	0,0089 ($\pm 0,0045$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,28 ($\pm 0,35$) b	0,049 ($\pm 0,016$) a	0,0082 ($\pm 0,0026$)a
Pepita uva	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,83 ($\pm 0,14$) a	0,063 ($\pm 0,024$) a	0,0106 ($\pm 0,0040$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,30 ($\pm 0,42$) a	0,051 ($\pm 0,005$) a	0,0086 ($\pm 0,0008$)a
Maíz	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,75 ($\pm 0,12$) a	0,025 ($\pm 0,011$) a	0,0042 ($\pm 0,0018$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,32 ($\pm 0,33$) a	0,026 ($\pm 0,006$) a	0,0044 ($\pm 0,0011$)a
Maravilla	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,74 ($\pm 0,09$) a	0,031 ($\pm 0,001$) a	0,0052 ($\pm 0,0002$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,35 ($\pm 0,32$) a	0,025 ($\pm 0,008$) a	0,0042 ($\pm 0,0014$)a
Oliva	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,66 ($\pm 0,11$) a	0,029 ($\pm 0,008$) a	0,0049 ($\pm 0,0013$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,30 ($\pm 0,27$) a	0,033 ($\pm 0,012$) a	0,0055 ($\pm 0,0020$)a
Oliva-Maravilla	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,67 ($\pm 0,08$) a	0,031 ($\pm 0,004$) a	0,0052 ($\pm 0,0007$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,34 ($\pm 0,37$) a	0,033 ($\pm 0,006$) a	0,0055 ($\pm 0,0011$)a
Soya-Maravilla usado	Tradicional ($\frac{1}{4}$)	9,64 ($\pm 0,23$) a	0,043 ($\pm 0,015$) a	0,0073 ($\pm 0,0026$)a
	Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	9,46 ($\pm 0,34$) a	0,057 ($\pm 0,011$) a	0,0096 ($\pm 0,0019$)a

Para un mismo aceite, letras distintas en las columnas denotan diferencias estadísticas significativas entre método de obtención (Duncan, $\alpha \leq 0,05$)

Cuadro 5. Propiedades del metil-éster considerando todas las fuentes de aceites. Valores promedios seguidos de $\pm$ DS antes del lavado.

Table 5. Properties of the methyl ester considering all the oil sources.

Método de obtención	Densidad (g cm ⁻³)	Viscosidad cinemática (cSt)	Viscosidad dinámica (cP)	pH
Tradicional ($\frac{1}{4}$)	0,8804 ($\pm 0,0024$) a	3,65 ($\pm 0,406$) a	3,21 ($\pm 0,353$) a	9,74 ($\pm 0,093$) a
Por lotes ($\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$)	0,8803 ($\pm 0,0048$) a	3,76 ($\pm 0,436$) a	3,31 ($\pm 0,383$) a	9,34 ($\pm 0,060$) b

Letras distintas en las columnas denotan diferencias estadísticas significativas entre métodos de obtención (Duncan, $\alpha \leq 0,05$)

Cuadro 6. Comparación de métodos de lavado del biodiesel obtenido a partir del aceite soya-maravilla. Valores promedios seguidos de $\pm$ DS. Como referencia se presentan las características del biodiesel sin lavar.

Table 6. Comparison of methods of washing of the methyl ester obtained from the oil soybean-sunflower.

Lavado	pH	Índice de Acidez (mg KOH g ⁻¹)	Acidez (%)
Tradicional	6,44 ($\pm$ 0,17) b	0,022 ($\pm$ 0,003) a	0,0037 ($\pm$ 0,0005) a
Burbujas (agua+vinagre)	6,04 ($\pm$ 0,17) a	0,052 ($\pm$ 0,008) b	0,0087 ($\pm$ 0,0013) b
Burbujas (agua)	6,47 ($\pm$ 0,18) b	0,053 ($\pm$ 0,003) b	0,0090 ($\pm$ 0,0005) b
Biodiesel sin lavar	9,89 ($\pm$ 0,24)	0,053 ($\pm$ 0,026)	0,0089 ($\pm$ 0,0045)

Cuadro 7. Comparación de calidad mediante los parámetros medidos en el metileéster, según distintas fuentes de aceite, para el método de obtención tradicional. No se incluye en el análisis el aceite Soya-Maravilla usado.

Table 7. Comparison of quality by means of the parameters measured in the methyl ester, according to different oil sources, for the method of traditional obtaining.

Aceite	Viscosidad cinemática (cSt)	Viscosidad dinámica (cP)	Densidad (g cm ⁻³)	pH
Oliva-Maravilla	3,47 a	3,05 a	0,8789 a b	9,67 a
Pepita de uva	3,55 a b	3,13 a b	0,8807 b	9,83 a
Maíz	3,55 a b	3,13 a b	0,8807 b	9,75 a
Soya-Maravilla	3,61 b	3,20 b	0,8842 c	9,89 a
Maravilla	3,94 c	3,47 c	0,8817 b c	9,74 a
	4,35			9,66 a
Oliva	d	3,81 d	0,8763 a	
Soya-Maravilla usado	3,05	2,68	0,8804	9,64

Letras distintas dentro de la columna denotan diferencias estadísticas significativas entre fuentes de aceite (Duncan, $\alpha \leq 0,05$).

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS BASADOS EN MUSGO (*Sphagnum magellanicum* Brid.) MEDIANTE ESPECIES HORTÍCOLAS INDICADORAS: COLIFLOR, LECHUGA Y TOMATE

Christel Oberpaur W¹., Andrea Araya A¹., Guillermo Délano I¹. y María Eugenia Arévalo P².

¹ Escuela de Agronomía, Universidad Santo Tomás, ejercito 146, Santiago.

² Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad de las Américas, Manuel Montt 948, Providencia.

RESUMEN

El uso de turba en la producción de almácigos hortícolas es cuestionado por el impacto que tiene la extracción de este recurso en el ambiente, por ello es necesario buscar sustratos alternativos que presenten características parecidas a la turba. Es así como se plantea evaluar el comportamiento de sustratos basados en musgo (*Sphagnum magellanicum*) en tres especies hortícolas: lechuga (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis). Los cuatro sustratos ensayados: testigo turba comercial, 50% musgo *Sphagnum* + 50% compost, 50% musgo *Sphagnum* + 50% humus, 50% musgo *Sphagnum* + 25% compost + 25% humus, en un diseño estadístico de bloques completos al azar con seis repeticiones. Las variables evaluadas semanalmente son porcentaje de emergencia, cantidad de hojas, peso seco radical y aéreo. Los resultados indican que los sustratos en base a musgo *Sphagnum* constituyen una alternativa de reemplazo al uso de la turba en las tres especies evaluadas. El sustrato compuesto por 50% de *Sphagnum* con 50% de humus es adecuado para plantines de lechuga, coliflor y tomate. Adicionalmente en coliflor el sustrato 50% de *Sphagnum*, con 25% de compost y 25% de humus resulta apropiado.

Palabras claves: *Lactuca sativa*, *Solanum lycopersicum*, *Brassica oleracea* var. botrytis

ABSTRACT

The use of peat in the production of vegetable seedlings is questioned, due to the impact of the extraction in the environment, it is therefore necessary to seek for alternative substrates with similar characteristics to peat. It's necessary to assess the behavior of substrates including peat moss (*Sphagnum magellanicum*) with vegetable species like lettuce (*Lactuca sativa*), tomato (*Solanum lycopersicum*) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis.). Four substrates were tested, commercial peat control, 50% *Sphagnum* moss + 50% compost, 50% *sphagnum* moss + 50% humus, 50% *Sphagnum* moss + 25% compost + 25% humus, applying a complete randomized block design with six replications. The variables emergence percentage, leave number, root and shoot dry weight were evaluated weekly. The results indicated that substrates based on *sphagnum* moss offer an alternative to replacing the use of peat in the three evaluated species. The substrate composed by 50% *Sphagnum* moss with 50% humus is suitable for seedlings of lettuce, cauliflower and tomato. Additionally, the substrate 50% *Sphagnum* moss plus 25% compost and 25% humus is appropriate for cauliflower.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo en contenedores. Un sustrato consiste en un sistema conformado por tres fases: sólida, líquida y gaseosa; en ese ambiente crecerán las raíces y es por ello que cobra relevancia el volumen del contenedor (Valenzuela y Gallardo

2003). La fase sólida permite el anclaje del sistema radical y la estabilidad de la planta; la líquida asegura el suministro de agua y nutrimentos a la planta y la gaseosa facilita el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre las raíces y el medio externo (Díaz 2004). El sustrato ideal es aquel que proporciona a la planta las mejores condiciones para su crecimiento, posee un bajo impacto ambiental y donde la relación costo/beneficio es adecuada para el sistema productivo (Abad 1995). En adición, la obtención y eliminación del sustrato, una vez utilizado, no debería provocar un impacto medioambiental de importancia (Abad 1993).

La tendencia actual es, sin duda, realizar la producción en viveros y con sustratos estándar, a base de varios componentes; diversos tipos de turba, humus de lombriz, arena, perlita, cascarilla de arroz, complementada con fertilizantes sintéticos para obtener las características físico-químicas deseadas (Abad y Noguera 1997). Los componentes básicos de los sustratos son generalmente turba de *Sphagnum*, perlita, vermiculita y un agente humectante. Otros ingredientes pueden ser arena lavada, corteza procesada, residuos vegetales sometidos a compostaje y otros biosólidos. La mayoría de los sustratos comerciales de almácigos son finamente harneados para facilitar el llenado de las celdas pequeñas, así como para obtener una buena germinación de la semilla (Schrader 2003).

Caracterización de sustratos

Antes de utilizar un sustrato es necesario caracterizarlo, esto significa evaluar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, para establecer si son adecuadas para el desarrollo de un cultivo (Díaz 2004). Cuando alguna materia prima carece de suficiente aporte de carácter físico o químico es necesario hacer una mezcla de materiales (Nelson 1991). Debido a que las propiedades físicas y químicas de las

materias primas varían al mezclarlas, es imprescindible realizar la respectiva caracterización fisicoquímica de las mezclas (Fonteno 1996).

Las propiedades físicas de un sustrato vienen determinadas por la estructura interna de las partículas y su granulometría (Pastor 1999). La densidad aparente está inversamente relacionada con la porosidad de un material; a mayor densidad, menor es el espacio poroso y viceversa (Bunt 1985). Para el cultivo de hortalizas en invernadero se prefiere utilizar sustratos con densidades aparentes bajas, especialmente por el costo en el transporte y su manejo (Díaz 2004). El valor ideal de densidad aparente, es cercano a 220 Kg m^{-3} (Ansorena 1994).

La granulometría considera la distribución de tamaños de las partículas que conforman un sustrato, esta y la de los poros determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato (Abad 1995, Díaz 2004). Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0,9 mm, con poros grandes, superiores a 100 micrómetros, retienen cantidades reducidas de agua y están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0,25 mm y tamaño de poros inferior a 30 μm , retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados (Abad 1995). El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 μm , equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0,25 y 2,5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire (Puustjarvi, citado por Abad 1995). La mayoría de las partículas, tanto de componentes orgánicos como inorgánicos para sustratos, deben presentar un tamaño entre 0,5 y 4 mm, y con menos del 20% de partículas más finas que 0,5 mm (Iskander 2002).

El valor óptimo de porosidad es superior al 85%, razón por la cual es posible cultivar en volúmenes reducidos de sustrato, dejando suficiente espacio disponible al aire y a la solución nutritiva (Baixauli y Aguilar 2002). La capacidad de aireación, proporción volumétrica del medio de cultivo que contiene aire después de que dicho medio ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión, en su nivel óptimo oscila entre el 20 a 30% en volumen (Abad 1993).

Disponibilidad de agua. Agua fácilmente disponible se refiere al agua que se encuentra retenida en un sustrato entre las tensiones de 10 y 50 cm de columna de agua. Esta es el agua que preferentemente absorben las raíces de las plantas, porque se requiere menor energía para extraerla del sustrato (Díaz 2004, Baixauli y Aguilar 2002). El volumen de agua total disponible debe alcanzar al menos un 30% del volumen del sustrato (Iskander 2002).

Propiedades químicas. En principio se desea la inactividad química en un sustrato, que sea insoluble y por lo tanto, químicamente estable, con una baja o nula salinidad, pH neutro o ligeramente ácido y una adecuada relación C/N (Baixauli y Aguilar 2002). El análisis de las propiedades químicas de un medio es importante debido a su interacción con los fertilizantes y su efecto en el desarrollo de las plantas, siendo el pH y la conductividad eléctrica determinantes en la selección de los sustratos (Quesada y Méndez 2005).

El valor óptimo para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación (Lemaire et al., citados por Abad 1995). Si la fertirrigación se aplica permanentemente, es recomendable la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula CIC. Si la fertirrigación se aplica de forma intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada o

elevada capacidad e intercambio catiónico, en todo caso superior a 20 meq/100 g (Abad 1993). Se pueden prevenir los cambios rápidos en la acidez o la alcalinidad de los sustratos, usando materiales orgánicos en las mezclas de cultivo (Puustjarvic y Penningsfeld, citados por Abad 1995).

Disponibilidad de nutrientes. Los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido de nutrientes asimilables. Algunos como la turba rubia y tierra de hoja poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compost) presentan niveles elevados, dependiendo estos del origen del compost y del grado de compostaje (Abad 1995). En la elección de las materias primas no se considera prioritario el contenido nutricional porque es sencillo corregir cualquier deficiencia nutricional mediante ajustes en la fertilización. La tendencia es utilizar sustratos nutricionalmente inertes, para de esta manera controlar todo el aporte nutritivo que recibe la planta (Guzmán 2003).

pH. Los materiales orgánicos presentan mayor capacidad tampón que los inorgánicos y por lo tanto, mayor capacidad para mantener constante el pH. El pH influye en la asimilabilidad de los nutrientes por la planta. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con valores superiores a 6,5 se disminuye la asimilabilidad de hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu) (Baixauli y Aguilar 2002). Para la producción de plantas hortícolas en almácigo, se indica un valor de pH óptimo entre 5,3 y 6,5 (Abad *et al.*, citados por Guzmán 2003).

Conductividad eléctrica. Es preferible que la conductividad eléctrica de un sustrato no sea mayor de 2,0 dS m⁻¹ (Díaz 2004). Para la producción de plantas hortícolas en almácigo, se consideran nocivos valores de conductividad eléctrica superiores a 3,5 dS m⁻¹ (Warncke y Krauskopf 1983).

Relación C/N y grado de descomposición. El valor de la relación C/N da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel cercano a 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y a una reducción del oxígeno debido a la actividad microbiana. En sustratos destinados a la horticultura se recomienda valores inferiores a 20 (Baixauli y Aguilar 2002). Todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables, son susceptibles de degradación biológica continua, viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos. La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato (Abad 1995). La descomposición del componente orgánico de un sustrato durante el periodo de crecimiento de un cultivo, además de causar problemas tales como reducciones en el volumen total del sustrato disponible para las plantas, puede alterar significativamente las propiedades físicas originales (Iskander 2002). Por otra parte, las condiciones de cultivo deberían ser también consideradas: si el cultivo se prolonga por largos periodos de tiempo, resulta recomendable el uso de materiales más estables (turba negra o corteza de tamaño grueso), mientras que si las plantas son de crecimiento rápido, pueden prosperar en materiales menos resistentes a la degradación (Raviv et al., citados por Abad 1995).

Componentes de sustratos hortícolas

La mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas ornamentales consisten en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra

pómez y otros subproductos minerales. Por otro lado, los componentes orgánicos más populares incluyen turba de musgo, productos de madera (corteza, aserrín, virutas), compost de materia orgánica o desechos de jardinería, polvo de coco, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de maní (Iskander 2002).

Compost. En gran medida, el uso de materiales compostados permite reemplazar la utilización de recursos no renovables como la turba, y transformar en sustrato aprovechable desechos orgánicos que eventualmente contaminan el medio ambiente (De Grazia *et al.* 2007). Es necesario evitar niveles elevados de sales solubles en los materiales de compost. Se recomienda que en un sustrato la inclusión de compost no supere un 20 a 30% (Raymond et al., citados por Stofella y Kahn 2004). Los materiales compostados utilizados como único sustrato de crecimiento son más propensos a compactarse durante el periodo de producción, disminuyendo la porosidad del medio, fenómeno que ocurre más comúnmente en productos frescos o inmaduros de compost. Este problema puede ser evitado, ya sea dejando que el compost madure suficientemente o bien mezclándolo con materiales que no se compacten fácilmente durante el periodo de producción (Stofella y Kahn 2004).

Humus. El humus de lombriz acumula una mayor cantidad de agua, que luego es lentamente cedida a la plántula. Esta capacidad de retención hídrica debe ser manejada en relación con el volumen del contenedor (Ullé 2000). Debe su valor a la gran diversidad de microorganismos y a la flora bacteriana que contiene (Lacasa 1990), presenta en su composición ácidos húmicos que tienen efectos significativos sobre los ácidos fúlvicos en los procesos de crecimiento (Santana *et al.* 2005).

Musgo *Sphagnum*. Todas las especies de *Sphagnum* poseen una gran capacidad para acumular agua. Para ello sus tallos y hojas poseen células grandes (hidrocitos) cuyas paredes están provistas de perforaciones, que una vez muertas

permiten la entrada de agua en su interior (Roig y Roig 2004). Este musgo, tanto vivo como muerto, puede conservar hasta veinte veces su peso seco en agua (Schofield 1985). En Chiloé y la Patagonia se ha observado una intensa y creciente explotación de turberas para la colecta de musgos del género *Sphagnum* que es exportado a países como Japón, Corea del Sur, Estados Unidos y Taiwán, donde se utiliza principalmente para el cultivo de orquídeas, horticultura en general y reproducción vegetativa de frutales (Zegers et al. 2006). El musgo *Sphagnum magellanicum* surge como alternativa de reemplazo al uso de la turba por sus atributos físicos-químicos, gran capacidad de absorber agua, un pH ácido que le da una capacidad antibiótica, características que lo han transformado en un insumo apetecido en el mercado internacional (Pardo 2002).

Fertilización

Si la semilla es sembrada en una mezcla de sustrato que contiene fertilizantes iniciales (starter), la fertigación es atrasada en una o dos semanas, de lo contrario, la fertigación debiera comenzar en el estado de desarrollo de la planta de primera hoja verdadera (Schrader 2003).

Fertilizante de entrega controlada (FEC). El término entrega controlada corresponde a fertilizantes que no liberan todos los nutrientes disponibles al momento de la aplicación, sino a una tasa que coincida con la demanda de la planta. La entrega de los nutrientes es variable según el producto y depende de los niveles de humedad del suelo, la temperatura y/o la actividad microbiológica. Esto trae como consecuencia una máxima eficiencia en su utilización al optimizar la calidad de la planta, disminuyendo la frecuencia en la fertilización y las pérdidas por lixiviación. La principal y más clara ventaja de los FEC sobre los fertilizantes solubles de entrega rápida es su habilidad de suministrar nutrientes a las plantas por

períodos de tiempo prolongado mediante una sola aplicación. La principal desventaja en la utilización de FEC se encuentra en la posibilidad de que ocurran entregas descontroladas de nutrientes. A diferencia de los productos solubles, los FEC no pueden ser ajustados una vez que han sido aplicados (Rose et al. 2004).

Cultivos indicadores

El tomate crece bien en varios tipos de suelos; los prefiere profundos, de consistencia media, fértiles, bien equilibrados en sus componentes minerales, ricos en materia orgánica, y permeables, dada la susceptibilidad del tomate al exceso de agua. Tiene un buen comportamiento en suelos de pH 6 a 7, pero tolera de 6 a 8 (Giacconi y Escaff 1998), soporta niveles de salinidad hasta 4 mmhos cm^{-1} (Sobrino y Sobrino 1994).

El cultivo de lechuga resiste contenidos medios de salinidad, aunque en invernaderos el desarrollo del cultivo puede verse afectado por el incremento en sales solubles, producto de una fertilización excesiva. Su límite óptimo de pH se cifra en 6,8 y 7,4. No resiste la acidez y se adapta bien a terrenos ligeramente alcalinos (Maroto 1995). Esta especie es muy sensible a la salinidad, con valores de CE de 2 dS m^{-1} disminuyen los rendimientos considerablemente (Sobrino y Sobrino 1994).

La coliflor requiere suelos fértiles, ricos en humus y en nitrógeno asimilable, con buen poder de retención de humedad. Es sensible a la acidez, con un rango óptimo de pH entre 6,5 y 7,0 (Giacconi y Escaff 1998, Smith *et al.*, citados por Nieto 2006), contenido de sales menor a de 3 a 4 dS m^{-1} (Sobrino y Sobrino 1994).

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento de sustratos basados en musgo (*Sphagnum magellanicum*) con inclusión de fertilizantes de entrega controlada en su formulación en tres especies hortícolas indicadoras, lechuga, coliflor y tomate.

MATERIALES Y MÉTODO

Esta investigación se realizó en condiciones de vivero sombreado en el Campus Experimental de la Universidad Santo Tomás, Catemito, comuna de Calera de Tango, Región Metropolitana, entre octubre y diciembre de 2008.

Los materiales para preparar los sustratos fueron: mezcla comercial de turba comercial Sone, compost, humus de lombriz, musgo *Sphagnum magellanicum* (desecho de exportación), Basacote Mini Prill que corresponde a un gránulo recubierto de ceras elásticas que optimizan la liberación controlada de los nutrientes. Presenta un tamaño de gránulo de 2 a 4 mm con un espesor homogéneo. Contiene N, P, K, Mg y microelementos en cada gránulo, los que se liberan en forma lenta y en función de la temperatura del suelo (Compo Agro 2003). El material vegetal correspondió a semillas de coliflor cv. Bola de nieve, semillas de lechuga cv. Great Lakes, semillas de tomate cv. Cal Ace. En la investigación se utilizaron 18 bandejas de poliestireno expandido, cada una con 240 alvéolos y un volumen de 24 cm³ por alvéolo. Los equipos utilizados fueron una balanza analítica. Denver AA-250 (rango 0,0000 – 250,0000 g; Precisión +/- 0,0001 g), estufa de secado Binder (rango 0 – 300° C).

Los sustratos utilizados en el ensayo fueron tres, más el testigo de turba comercial. Los sustratos (tratamientos) con mezclas compuestas por musgo (*Sphagnum magellanicum*), compost y humus de lombriz en distintas proporciones se muestran en el Cuadro 1, donde se adicionó Basacote Mini Prill. Posteriormente se enviaron muestras al laboratorio para su análisis físico-químico. Previo a la inclusión del musgo *Sphagnum* en los sustratos, este se debió tamizar a través de un harnero de 7 mm con el objetivo de eliminar impurezas. Luego se regó en una ocasión con

agua recién hervida para evitar la aparición de malezas en el musgo. Una vez tratado el musgo, se procedió a elaborar los sustratos compuestos por musgo *Sphagnum*, compost y humus. La siembra fue manual, depositando una semilla por alvéolo. El riego de los ensayos fue mediante aspersión manual con una frecuencia de tres veces por semana. No se aplicó fertirriego. En el testigo turba comercial se utilizó una baja dosis de Basacote (2,5 gL⁻¹) debido a que el sustrato contenía fertilizantes en su formulación. El manejo de plagas consistió en un control preventivo, se realizó a los 21 días después de siembra con Dimetoato Plus (I.A. dimetoato y permetrina) 5 cm³ L⁻¹ asperjando el follaje de las plántulas.

Los sustratos se ensayaron en forma independiente con tres especies indicadoras, lechuga, coliflor y tomate. En cada uno de los ensayos el Diseño Experimental correspondió a bloques completos al azar con 4 tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental consideró 60 alvéolos, equivalente a un cuarto de la bandeja de poliestireno expandido.

El comportamiento de los tratamientos en los tres ensayos con cultivos hortícolas indicadores se evaluó semanalmente recolectando cinco plantas en forma aleatoria por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron porcentaje de emergencia, cantidad de hojas, peso seco de canopia y radical (a 105 °C por 24 horas).

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANDEVA) utilizando el software estadístico MINITAB 13 (MINITAB Release 13.31, 2000). A los tratamientos que presentaron diferencias estadísticamente significativas, se les aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$) mediante el mini programa estadístico GYE versión 3.1 (1991). Los resultados obtenidos en porcentajes fueron sometidos a transformación angular de Bliss para normalizarlos previo al

ANDEVA y la prueba de comparación múltiple de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones físicas y químicas de los sustratos utilizados

En el Cuadro 2 se exponen los resultados de los análisis físicos y químicos de los sustratos. Los valores de pH indican que los sustratos S50C25H25, S50H50 y S50C50 se encuentran en el rango de valores óptimos indicados por Guzmán (2003), no así el testigo. Los resultados de análisis físicos y químicos de los tratamientos S50C50 y S50H50 son similares a los obtenidos por Fernández (2008) y Puebla (2007). Las características de un sustrato ideal según FAO (2002) y Ansorena (1994) indican una densidad aparente de $0,22 \text{ g cm}^{-3}$, pH entre 5,5 y 6,5, una CIC entre 10 y 30 meq 100 g^{-1} peso seco, conductividad eléctrica de 0,75 y $3,49 \text{ dS m}^{-1}$ y un contenido de materia orgánica superior al 80%. Los sustratos S50C50, S50H50 y S50C25H25 se encuentran dentro del nivel óptimo de pH. Sin embargo la turba comercial presentó un pH menor al nivel ideal. Según Bauxali y Aguilar (2002) el pH influye en la asimilabilidad de los nutrientes por la planta. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con valores superiores a 6,5 se disminuye la asimilabilidad de hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu). Los sustratos ensayados que incluyen musgo en combinación con humus y compost presentan niveles de pH adecuados.

De acuerdo a Giaconi y Escaff (1998) las plantas de tomate tienen un buen comportamiento en suelos con pH 6 a 7, pero toleran entre 6 y 8. Según el Cuadro 2 de resultados, el sustrato S50C25H25 cumple con los requisitos de pH exigidos por esta especie. En plantas de

lechuga el óptimo de pH se cifra entre 6,8 y 7,4 (Maroto 1995), entre 6,0 y 6,8 aceptando niveles entre 5,5 y 7,0 (Sobrino y Sobrino 1994). El sustrato S50C25H25 sería el sustrato adecuado en relación al nivel de pH también para el cultivo de lechuga. El pH óptimo para plantas de coliflor se encuentra entre 6,5 y 7,0 (Smith *et al.*, citados por Nieto 2006). A diferencia de lechuga y tomate, para el cultivo de coliflor ninguno de los sustratos presenta el pH requerido por la especie.

Los datos de conductividad eléctrica (CE) (Cuadro 2) indican que los sustratos analizados presentan valores considerados altos, según Díaz (2004) es preferible que la CE de un sustrato no sobresalga de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Baixauli y Aguilar (2002), Warncke y Krauskopf (1983) consideran que valores de CE superiores a $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ son demasiado altos para la mayor parte de los cultivos hortícolas.

El compost es un material que presenta altos niveles de sales solubles, por lo que se recomienda que un sustrato no contenga más de un 2 a 30% de compost (Raymond *et al.*, citados por Stoffella y Kahn, 2004). El cultivo de lechuga es muy sensible a la salinidad, CE de 2 dS m^{-1} (Sobrino y Sobrino 1994), por lo que ninguno de los sustratos analizados tiene un adecuado nivel de CE para plántulas de esta especie. En el cultivo de coliflor el rendimiento disminuye cuando el suelo presenta una salinidad de 3 a 4 dS m^{-1} (Sobrino y Sobrino 1994), por lo que el sustrato testigo, turba comercial, podría ser una buena alternativa. Este es el mismo caso para tomate, que tolera niveles de salinidad de hasta 4 dS m^{-1} .

Es necesario mencionar que las plantas durante los ensayos no presentaron síntomas de daños de toxicidad por sodio y cloruros. De acuerdo a los resultados de análisis químico de los sustratos ensayados, los valores de CE obtenidos superan ampliamente los de Fernández (2008) y Puebla (2007), esto se debe a que ellos no analizaron los sustratos con inclusión de fertilizantes en su formulación.

Los valores más altos de materia orgánica, tal como se indica en el Cuadro 2, correspondieron a los sustratos compuestos por turba comercial, S50C50 y S50C25H25. El valor menor se encontró en el tratamiento S50H50. Los valores de materia orgánica indican que todos los sustratos presentan niveles inferiores al valor óptimo, el cual corresponde a un 80% (Ansorena 1994). Los resultados de contenido de materia orgánica obtenidos son similares a los reportados por Puebla (2007), y mayores al reportado por Fernández (2008). La materia orgánica se vincula con la porosidad debido a que actúa como material granulador, el cual permite mejorar la estructura (Tisdale y Nelson 1982). El sustrato turba comercial presentó el mayor porcentaje de materia orgánica, y a su vez es el único sustrato que arrojó un 85% de porosidad.

El valor ideal de densidad aparente se encuentra cercano a 220 Kg m^{-3} (Ansorena 1994). Las densidades aparentes evaluadas en los sustratos están debajo del valor óptimo. El sustrato formulado por un 50% de *Sphagnum* más un 50% de humus se encuentra cercano al valor ideal. Los tamaños de partículas óptimos para un sustrato ideal se encuentran dentro del rango de 0,25 y 2,5 mm. Según los resultados de los análisis físicos para tamaño de partículas realizados en laboratorio, el sustrato compuesto por 50% de *Sphagnum* y 50% de humus fue el que presentó un 87% de partículas menores a 2,0 mm, correspondientes al rango de sustrato ideal.

Los contenidos de nutrientes N, P y K evaluados en los sustratos indican que la turba comercial muestra los menores valores. Los mayores contenidos de N y K los contiene el sustrato compuesto por S50C50, tal como se señala en el Cuadro 2. El contenido de fósforo fue menor en la turba comercial, probablemente tenga relación con el pH, cercano a 5,0. El sustrato S50H50 presentó el

mayor porcentaje de fósforo, al comparar con los demás sustratos.

Según Atiyeh et al. (2002), el humus de lombriz se caracteriza por estar conformado por materiales finamente divididos con un gran área superficial, la cual le permite adsorber y retener fuertemente los elementos nutritivos. Estos se encuentran en formas que son fácilmente asimilables para las plantas tales como nitratos, fósforo intercambiable, potasio, calcio y magnesio solubles. Los contenidos de nutrientes son concordantes con los de Fernández (2008), considerando que en este ensayo los sustratos contenían fertilizantes en su formulación.

Ensayo de lechuga

Emergencia de plántulas. De acuerdo al Cuadro 3, en los sustratos ensayados los promedios de emergencia a los 7 y 14 días no presentan diferencias significativas, alcanzando en promedio 90 y 95%

Cantidad de hojas en plántulas. En el Cuadro 3 se indica el promedio de hojas presentes en plántulas de lechuga en cada uno de los sustratos ensayados. A los 7 dde (días después de emergencia de plántulas) existen diferencias significativas entre los sustratos, donde el mejor corresponde a S50H50, con 1,6 hojas por planta y el testigo de turba comercial (1,3 hojas), seguidos por el tratamiento S50C25H25 y S50C50. A los 14 dde siguen las diferencias significativas entre los tratamientos, en el sustrato compuesto por un 50% de *Sphagnum* con un 50% de humus se presentó la mayor cantidad de hojas por planta, al igual que los tratamientos turba comercial y 50% de musgo con 50% de compost. En el sustrato con 50% *Sphagnum*, 25% de compost, más 25% de humus se mostró la menor cantidad de hojas por planta. A los 21 dde existen diferencias significativas, los resultados siguen siendo favorables S50H50 que posibilitó la mayor cantidad de hojas, 4,5 hojas por planta. A los 28 dde no hay diferencias significativas entre los

sustratos, sin embargo a los 35 dde estas se presentan, donde los sustratos turba comercial y S50C50 alcanzan valores mayores, sin diferenciarse con S50H50. Según Fernández (2008), en los sustratos S50C50 y S50H50, hasta los 21 dde no se presentó diferencias significativas entre los tratamientos, a los 28 dde se mostraron diferencias significativas, siendo el mejor el sustrato S50H50.

El humus en combinación con *Sphagnum* muestra un valor de densidad aparente cercano al óptimo, por lo cual puede ser una buena alternativa de reemplazo a la turba. Laudig y Joosten (2008) indican que la biomasa fresca de *Sphagnum* parece tener las mismas propiedades físicas y químicas de la turba blanca, por lo que su uso como sustituto a la turba en horticultura es posible sin una pérdida de calidad de las plantas cultivadas.

Peso seco radical. De acuerdo al Cuadro 3, a los 7 dde se presentaron diferencias significativas entre la turba comercial y el sustrato S50C50 respecto a S50H50, correspondiendo a este último el mayor valor de peso seco radical. A los 14 dde el testigo turba comercial y S50H50 alcanzaron los mayores valores de peso seco radical en plantines de lechuga. Desde los 21 dde se evidenciaron diferencias significativas entre el sustrato S50H50 comparado con el testigo turba comercial y S50C50. Los sustratos S50H50 y S50C25H25 mostraron los mayores valores de peso seco radical. A los 35 dde se aprecia que los sustratos que incluyen musgo superan al testigo comercial.

Según Brechelt (2004), el humus de lombriz puede ayudar a mejorar las condiciones físicas del suelo, y favorecer un buen desarrollo de las raíces de las plantas. Además el humus presenta alto contenido de auxinas y hormonas vegetales que influyen de manera positiva en el crecimiento de las plantas. El humus presentó el mayor contenido de fósforo en los análisis

químicos realizados, esto demuestra que el sustrato favorece la proliferación radicular y generación de raicillas, especialmente en el peso seco radicular del tratamiento S50H50.

El uso de *Sphagnum* fresco ayuda a mantener la humedad, previene el crecimiento de malezas, es permeable y tiene elasticidad, por lo que es un medio de crecimiento ideal para plantas (Saxena y Harinder 2004). En síntesis, de acuerdo a los resultados expuestos, la mejor alternativa de reemplazo a la turba en plantines de lechuga corresponde al sustrato S50H50.

Peso seco aéreo de plántulas. En el Cuadro 3 se indica el peso seco aéreo en plántulas de lechuga donde desde los 7 dde hasta los 21 dde se presentaron diferencias significativas, en S50H50 se alcanzó el mayor peso seco aéreo. A los 14 dde las diferencias debido al efecto de los tratamientos se mantienen. A los 21 dde el sustrato compuesto por 50% de *Sphagnum* con 50% de humus posibilitó el mayor valor de peso seco aéreo correspondiente a 490 mg planta⁻¹. En el sustrato compuesto por 50% de *Sphagnum*, 25% de compost y 25% de humus se alcanzó el menor valor, 300 mg planta⁻¹, sin diferenciarse de la turba comercial y S50C50. A los 28 dde y 35 dde no se registraron diferencias significativas. De acuerdo a Bollo (2006), el humus tiene la capacidad de comportarse como una hormona estimuladora del crecimiento vegetal, ya que se conoce que 1 mg L⁻¹ de humus, es equivalente en actividad a 0,01 mg L⁻¹ de AIA.

Ensayo de coliflor

Emergencia de plántulas. Los porcentajes de emergencia de plántulas de coliflor no indicaron diferencias significativas a los 7, 14 y 21 días, con promedios de 85,4, 88,6 y 90,3% respectivamente, como se indica en el Cuadro 4.

Cantidad de hojas en plántulas. En el Cuadro 4 los resultados exponen diferencias significativas entre tratamientos a los 7 y 14 dde. Los mayores

valores de hojas son alcanzados por los tratamientos S50H50 y S50C25H25. En comparación al ensayo de lechuga, solo se presentan diferencias significativas hasta los 14 dde. A partir de los 21 dde los tratamientos no indican diferencias significativas.

Probablemente los pH de los sustratos no son los adecuados para coliflor, debido a que el pH más alto es de 6,0, y este requiere pH entre 6,5 y 7,0. Sin embargo necesita sustratos con buena capacidad de retención de humedad y alto contenido de materia orgánica, prefiere suelos con acidez, soportando mal la salinidad (3 a 4 dS m⁻¹). De acuerdo a estos parámetros se puede indicar que el sustrato que cumple con estos requerimientos corresponde al testigo de turba comercial.

Peso seco radical de plántulas. De acuerdo al Cuadro 4, el peso seco radical en plántulas de coliflor a los 7 dde muestran diferencias significativas entre los sustratos, con valores mayores en los compuestos de *Sphagnum* 50% con humus 50% y *Sphagnum* 50% con compost y humus en dosis de 25% respectivamente. A los 14 dde los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, a los 21 dde hay diferencias significativas entre los sustratos, donde en S50H50 y S50C25H25 el peso seco radicular es mayor. A los 28 dde no existen diferencias significativas entre los tratamientos. De acuerdo a los análisis, el humus mostró un alto contenido de fósforo, lo cual se relaciona con los buenos resultados de peso seco radicular. Según estos resultados el mejor tratamiento para reemplazar el uso de la turba comercial en el caso de peso seco radicular lo constituye el sustrato S50C25H25, debido a la combinación de las características del humus y compost que permiten lograr una proliferación radicular.

Peso seco aéreo de plántulas. Los datos del Cuadro 4 indican que a partir de los 7 hasta los 28 dde no se registran diferencias significativas

entre los sustratos. En comparación al ensayo de lechuga estos resultados son similares, ya que a partir de los 7 dde tampoco existen diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que cualquiera de los sustratos que incluya musgo podría reemplazar a la turba. Los sustratos testigo turba comercial y S50H50 permiten los mayores valores en peso seco aéreo.

Atiyeh et al. (2002) señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se obtiene cuando el humus constituye una proporción relativamente pequeña (10 a 40%) del volumen total del medio de crecimiento de la planta dentro de los cuales estos materiales son incorporados. Generalmente, proporciones más grandes o más reducidas de humus en los medios de crecimiento no incrementan el crecimiento de las plantas.

Ensayo de tomates

Emergencia de plántulas. Según el Cuadro 5 a los 7 dds existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Los sustratos de turba comercial y S50C50 presentaron una mayor emergencia en comparación a los demás tratamientos. A los 14 y 21 dds no hubo diferencias significativas entre los sustratos, lo que concuerda con lo ocurrido con lechuga y coliflor. Según Fernández et al. (2006) la turba es un material que permite altos porcentajes de germinación debido a sus características físico-químicas, dentro de las que destacan su retención de humedad alta, porosidad total alta y reducida conductividad eléctrica. Los sustratos elaborados con musgo complementado con humus y/o compost permiten obtener igual emergencia que la turba.

Cantidad de hojas en plántulas. En el Cuadro 5 se muestra el promedio de hojas en plántulas de tomate, donde a los 7 dde no existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo mismo ocurre en la evaluación realizada a los 14 dde. A los 21 dde hubo diferencias significativas donde los mejores resultados fueron obtenidos por los

sustratos turba y S50H50. Los sustratos que incluyen al musgo son iguales, pero S50C50 y S50C25H25 presentan los menores valores comparados al testigo. Los resultados registrados a los 28 dde no indican diferencias significativas entre los tratamientos. Illanes (2001) y Avendaño (2003) señalan que en tomate la planta desarrolló primero el número de hojas adecuado para transplante en el tratamiento 100% turba, debido a las características físicas y nutricionales que posee este material. Sin embargo al comparar los resultados con lechuga y coliflor, en ninguno de los sustratos que incluyen al musgo hay diferencias significativas con el testigo de turba comercial a los 28 dde.

Peso seco radical. A los 7 y 28 dde no hay diferencias significativas entre los sustratos. La evaluación realizada a los 14 dde presenta diferencias significativas entre los sustratos, de tal modo que el mejor peso seco radical se obtuvo en el compuesto por *Sphagnum* y humus en dosis de 50% y S50C25H25, comparado con los demás. A los 21 el mayor peso seco radical se mostró en los sustratos turba, S50H50 y S50C25H25.

Según Stoffella y Kahn (2004) la porosidad es uno de los parámetros físicos más importantes en los medios de contenedor, debido a la necesidad de intercambio gaseoso efectivo en la zona radicular. Algunos productos del compost han demostrado tener un espacio poroso satisfactorio al inicio del periodo de producción de la planta, pero sufren compactación durante el periodo de producción. En el caso del ensayo realizado, el cuadro 5 indica que la turba se presenta como un buen tratamiento, pero no con los valores más altos de peso seco. El humus actúa como material cementante entre las partículas del suelo, dando origen a estructuras granulares, que permiten un mejor desarrollo radicular, mejorando el intercambio gaseoso, activando a los microorganismos del suelo, aumentando la

oxidación de la materia orgánica y por ende la entrega de nutrientes en formas químicas en que las plantas los pueden asimilar, estimulando de esta manera el crecimiento vegetal (Santana *et al.* 2005). Es probable que esta característica haya favorecido a los resultados de mezclas que lo contienen.

Al comparar los resultados de este ensayo con los de lechuga y coliflor, en el caso de lechuga se presenta como una buena alternativa de reemplazo a la turba el sustrato S50H50, al igual como en el caso de tomate. El sustrato S50H50 de acuerdo al análisis de laboratorio, se encuentra cercano al rango de pH que requiere el cultivo de tomate. Esta especie tolera un alto contenido de sales.

Peso seco aéreo de plántulas. En el Cuadro 5 se indican los resultados de peso seco aéreo en plántulas de tomate, donde a los 7, 14 y 21 dde no se muestran diferencias significativas. A los 28 dde hay diferencias significativas, donde el sustrato testigo y S50H50 presentaron el mayor peso seco aéreo. Todos los sustratos que incluyen musgo *Sphagnum* fueron iguales entre sí. A partir de los 28 dde la alternativa de reemplazo de la turba correspondería al sustrato S50H50.

CONCLUSIONES

Los sustratos elaborados en base a musgo *Sphagnum* con adición de compost y/o humus son adecuados para los cultivos de lechuga, coliflor y tomate y constituyen una alternativa de reemplazo al uso de la turba.

El sustrato compuesto por 50% v/v de musgo *Sphagnum* y 50% v/v de humus enriquecido con un fertilizante de entrega controlada es un medio de crecimiento adecuado para plantines de lechuga y tomate. Los sustratos compuestos por musgo *Sphagnum* (50% v/v) con humus (25% v/v) y compost (25% v/v) y el sustrato de musgo

Sphagnum (50% v/v) con humus (50% v/v) son apropiados para el cultivo de coliflor.

LITERATURA CITADA

ABAD, M. 1993. Sustratos. Características y propiedades. En: Cultivos sin suelo. F. Canovas y J. R. Díaz (eds.). España. Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA. pp. 47-62.

ABAD, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: NUEZ, F. El cultivo del tomate. España. Ediciones Mundiprensa. Madrid. pp. 131-166.

ABAD, M.; NOGUERA, P. 1997. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: URRESTARAZU, M. Manual de cultivos sin suelo. España. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. pp. 101-150.

ANSORENA, M. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. España. Ediciones Mundiprensa. pp. 107-109.

AVENDAÑO, C. 2003. Producción de plantines de tomate (*Lycopersicum esculentum* MILL.) bajo distintas condiciones físico químicas. Memoria (Ingeniero Agrónomo). Chillán, Chile. Universidad de Concepción, Fac. Agron. 70 p.

ATIYEH, R. M. *et al.* 2002. *Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales* [en línea]. 2002. [Fecha de consulta: 23 noviembre 2008]. Disponible en:

<<http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/vermicomposta.pdf>>.

BAIXAULI, C.; AGUILAR, J. M. 2002. *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias* [en línea]. 2002. [Fecha de consulta: 10 julio 2008]. Disponible en: <<http://www.agricultura.gva.es/sdt/pdf/libros/n53.pdf>>.

BOLLO, E. 2006. *Humus de lombriz y su aplicación* [en línea]. 2006. [Fecha de consulta: 20 noviembre 2008]. Disponible en: <<http://www.lombricultura.cl/biblioteca/humus%20DE%20lombriz%20Y%20SU%20aplica>>.

BRECHT, A. 2004. *Manejo ecológico del suelo* [en línea]. 2004. [Fecha de consulta: 24 noviembre 2008]. Disponible en: <http://www.rap-al.org/articulos_files/Manejo_Ecologico_del_Suelo.pdf>.

BUNT, A. C. 1985. Physical properties on mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. *Acta Horticulturae*, 150:143-153.

BUYATTI, M. 2000. Evaluación del comportamiento agronómico del aserrín de salicáceas compostado en mezcla con perlita para la producción de plantines florales. *Horticultura Argentina* 19:94.

COMPO AGRO. 2003. *Ficha técnica de Basacote* [en línea]. 2003. [Fecha de consulta: 29 julio 2008]. Disponible en: <<http://www.compo.cl/tecnicas/Basacote.pdf>>.

DE GRAZIA, J.; TITONELL, P.; CHIESA, A. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum*). *Ciencia e Investigación Agraria*, 34 (3): 195-204.

DÍAZ, F. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. En su: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. R. Sánchez, F. J., A. Moreno, J. L. Puente y J. Araiza (ed.). México. Torreón, Coah. pp. 20-40.

DOMÍNGUEZ, A. 2003. *Sustratos en Viverismo ecológico* [en línea]. 2003. [Fecha de consulta: 20 enero 2009]. Disponible en: <http://www.criecv.org/es/ae/comosehace_ae/substratos.pdf>

ELTEZ, R.; GUL, A.; TUZEL, Y. 1994. Effects of various growing media on eggplant and pepper seedling quality. Acta Horticulturae, 366: 257- 264.

FAO. 2002. *El cultivo protegido en clima mediterráneo* [en línea]. 2002. [Fecha de consulta: 30 julio 2008]. Disponible en: <<http://www.Fao.org/docreps/005/S8630S/s8630s08.htm#TopofPage>>.

FELDMAN, L. J. 1984. Regulation of root development. Annual Review of Plant Physiology, 35: 223-242.

FERNÁNDEZ, C. 2008. Fertilización de sustratos horticolas basados en musgo (*Sphagnum magellanicum* Brid.). Tesis (Ingeniero Agrónomo). Santiago, Chile, Universidad Santo Tomás, Escuela de Agronomía. 67p.

FERNANDEZ, C.; URDANETA, N.; SILVA, W.; POLISZUK, H.; MARIN, M. 2006. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos [en línea]. 2006. [Fecha de consulta: 12 enero 2009]. Disponible en: <http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/abril_junio2006/fernandez.pdf>.

FONTENO, W. 1996. Sustratos tipos y propiedades físicas y químicas. En: Reed, D. (ed.). Guía del productor: Agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero. Ball Publishing_Hortitecnia LTDA. Colombia. pp. 93-123.

GIACONI, V.; ESCAFF, M. 1998. Cultivo de hortalizas. Editorial Universitaria, S.A. Santiago. Chile. 386 p.

GUZMÁN, J. M. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. En: Memoria de cursos de *Simiente* 80(1-2):19-36

producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. Costa Rica. San José. pp 5.

ILLANES, S. 2001. Producción de plantines de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Evaluación exploratoria de sustratos y fertilización. Memoria (Ingeniero Agrónomo). Santiago, Chile, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. 88p.

ISKANDER, R. 2002. *Manejos de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta* [en línea]. 2002. [Fecha de consulta: 20 julio 2008]. Disponible en: <<http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencias06.pdf>>.

LACASA, A. 1990. Fertilizantes de origen biológico. Boletín técnico. Cuba. La Habana. CIDA. 43p.

LAUDIG, G.; JOOSTEN, H. 2008. *Sphagnum farming: local agricultural production of a horticultural peat substitute* [en línea]. 2008. [Fecha de consulta: 20 enero 2009]. Disponible en: <http://www.pole-tourbieres.org/docs/Lamoura_Gaudig.pdf>.

MAROTO, J. 1995. Horticultura herbácea especial. España. Ediciones Mundi-Prensa. 4 ed. Madrid. 611p.

NELSON, P. V. 1991. Greenhouse operation and management. Estados Unidos. 4 ed. Prentice-Hall. 612p.

NIETO, L. 2006. Influencia de tres volúmenes de contenedor en almácigo y cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis), cv Devina. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Santiago, Chile, Universidad Santo Tomás. Escuela de Agronomía. 36 p.

PARDO, J. 2002. Diagnostico cuantitativo y cualitativo del pon-pon (*Sphagnum* sp.) (2002, Puerto Varas, Chile). Simposio. Puerto Varas,

Chile, Simposio Internacional de Geología Ambiental para Planificación del uso el territorio. pp. 4.

PASTOR, J. 1999. *Utilización de sustratos en viveros* [en línea]. [Fecha de consulta: 26 julio 2008]. 1999. Disponible en: <<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/Art.231-235.pdf>>.

PUEBLA, V. 2007. Formulación preliminar de mezclas de sustratos en base a musgo (*Sphagnum magellanicum* Brid.) para viveros hortícolas. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Santiago, Chile, Universidad Santo Tomás, Escuela de Agronomía. 82 p.

QUESADA, G.; MÉNDEZ, C. 2005. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial de almácigos de hortalizas. *Revista de Agricultura Tropical* 35:01-13.

ROIG, C.; ROIG, F. 2004. Consideraciones generales. En su: Los turbales de la Patagonia. Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. D. Blanco, V. de la Balze (eds.). Buenos Aires. Argentina. pp 2-5.

ROSE, R.; HAASE, D.; ARELLANO, E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)*. Chile. 25 (2): 89-100.

SANTANA, Y.; AGUIAR, I.; LEON, L. 2005. Comportamiento de las plántulas de tomate en sustratos elaborados a partir de humus, turba y cascarilla de arroz. Universidad de Pinar Del Rio "Hermanos Saiz Montes de Oca". Pinar Del Río. Cuba. 15p.

SAN MARTÍN. 2002. Propagación de hortalizas. En: Curso de producción de hortalizas, "Metodología de producción de calidad, post cosecha, valor agregado y

comercialización" (2002, Temuco, Chile). Trabajos. Temuco, Chile. pp 2-24.

SAXENA, D.; HARINDER. 2004. *Uses of bryophytes* [en línea]. 2004. [Fecha de consulta: 20 de enero 2009]. Disponible en: <<http://www.ias.ac.in/resonance/June2004/pdf/June2004p56-65.pdf>>.

SCHOFIELD, W. B. 1985. The peat mosses-subclass *Sphagnidae*. En su: Introduction to Bryology. The Blackburn Press. Caldwell. Estados Unidos. New Jersey. pp. 32-48.

SCHRADER, W. 2003. *El uso de almácigos en la producción de hortalizas*. University of California Division of Agricultural and Natural Resources. [en línea]. 2003. [Fecha de consulta: 10 Julio 2008]. Disponible en: <<http://www.anrcatalog.ucdavis.edu>>.

SIMPSON, K. 1986. Abonos y estiércoles. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España. 273 p.

SOBRINO, I. E.; SOBINO, V. E. 1994. Tratado de horticultura herbácea. Hortalizas de hoja, raíz y hongos. Editorial aedos, Barcelona, España. 313 p.

STOFFELLA, P.; KAHN, B. 2004. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícolas. España. Ediciones Mundiprensa. Barcelona. 200p.

TISDALE, S.; NELSON, W. 1982. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Ediciones Uteha, México. 760 p.

ULLÉ, J. 2000. *Lechugas, calidad y cantidad* [en línea]. 2000. [Fecha de consulta: 27 julio 2008]. Disponible en: <<http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/hor/ju009.htm>>.

VALENZUELA, O.; GALLARDO, C. 2003. *Un insumo clave en los sistemas de producción de plantines: Sustratos hortícolas* [en línea]. [Fecha de consulta: 25 julio 2008]. 2003. Disponible en:

<<http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/hortícolas/hortalizas03.pdf>>.

WARNCKE, D. D.; KRAUSKOPF, D. M. 1983. Greenhouse growth media: testing and nutrition guidelines. Cooperative Extension Service. Extension Bulletin E-1736. Michigan State University. 6p.

ZEGERS, G.; LARRAÍN, J.; DÍAZ, M. F.; ARMESTO, J. 2006. Impacto ecológico y social de la explotación de pomponales y turberas de *Sphagnum* en la Isla Grande de Chiloé. Revista Ambiente y Desarrollo, 22(1): 28-34.

ANEXOS

CUADRO 1. Mezclas de sustratos ensayados en coliflor, lechuga y tomate.

Sustrato	<i>Sphagnum</i> (%)	Componentes (%)	Dosis Basacote (g L ⁻¹)
Testigo	0	Turba commercial (100%)	2,5
S50C50	50	Compost (50%)	3,5
S50H50	50	Humus (50%)	3,5
S50C25H25	50	Compost (25%) Humus (25%)	3,5

CUADRO 2. Resultados de análisis físicos y químicos de los sustratos ensayados.

Sustratos	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	Da (Kg m ⁻³)	N(%)	P(%)	K(%)
100 TC	4,9	3,5	78,0	65	0,73	0,42	0,29
S50C50	5,8	4,8	60,5	110	1,41	1,21	1,00
S50H50	5,8	6,2	44,5	195	1,25	1,97	0,60
S50C25H25	6,0	5,1	50,5	170	1,34	1,92	0,66

TC (turba comercial); S (*sphagnum*); C (compost); H (humus). MO (materia orgánica), Da (densidad aparente)

CUADRO 3. Influencia del tipo de sustrato sobre el crecimiento de plántulas de lechuga.

Parámetro	Sustrato	7 dde*	14 dde	21 dde	28 dde	35 dde
<i>Hojas (N°)</i>	100 Turba comercial	1,3 ab	3,7 ab	4,2 ab	4,6 a	5,8 a
	S50C50	1,1 b	3,5 ab	4,0 b	4,5 a	5,7 a
	S50H50	1,6 a	3,9 a	4,5 a	4,7 a	5,6 ab
	S50C25H25	1,1 b	3,3 b	3,9 b	4,4 a	5,3 b
<i>Peso seco radical (mg planta⁻¹)</i>	100 Turba comercial	7 b	50 a	97 b	170 b	180 b
	S50C50	10 b	17 b	99 b	250 ab	280 a
	S50H50	35 a	100 a	310 a	330 a	350 a
	S50C25H25	29 ab	17 b	170 ab	280 ab	300 a
<i>Peso seco aéreo (mg planta⁻¹)</i>	100 Turba comercial	37 ab	200 a	390 ab	570 a	1030 a
	S50C50	29 b	150 b	400 ab	750 a	1230 a
	S50H50	48 a	200 a	490 a	690 a	1280 a
	S50C25H25	34 b	130 b	300 b	520 a	1120 a

Promedios con igual letra en las columnas correspondientes a cada parámetro, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

*dde: días después de emergencia; S (*sphagnum*), C (compost), H (humus).

CUADRO 4. Influencia del tipo de sustrato sobre el crecimiento de plántulas de coliflor.

Parámetro	Sustrato	7 dde	14 dde	21 dde	28 dde
<i>Hojas (N°)</i>	100 Turba comercial	0,9 ab	1,5 b	2,0 a	2,9 a
	S50C50	0,8 b	1,7 ab	2,0 a	2,8 a
	S50H50	0,9 a	1,9 a	2,0 a	2,7 a
	S50C25H25	1,0 a	1,9 a	2,0 a	2,6 a
<i>Peso seco radical (mg planta⁻¹)</i>	100 Turba comercial	1,3 b	7,3 a	8,7 ab	12,0 a
	S50C50	1,2 b	5,8 a	5,9 b	10,5 a
	S50H50	3,7 a	7,4 a	11,5 a	13,1 a
	S50C25H25	4,3 a	7,0 a	12,2 a	16,4 a
<i>Peso seco aéreo (mg planta⁻¹)</i>	100 Turba comercial	24,6 a	71,2 a	97,1 a	162,3 a
	S50C50	21,8 a	65,3 a	75,3 a	149,0 a
	S50H50	24,7 a	65,0 a	71,8 a	145,0 a
	S50C25H25	29,0 a	64,3 a	86,4 a	161,9 a

Promedios con igual letra en las columnas correspondientes a cada parámetro, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

*dde: días después de emergencia

S (*sphagnum*); C (compost); H (humus).

CUADRO 5. Influencia del tipo de sustrato sobre el crecimiento de plántulas de tomate.

Parámetro	Sustrato	7 dde*	14 dde	21 dde	28 dde
<i>Emergencia (%)</i>	100 Turba comercial	46,9 a	84,2 a	86,6 a	
	S50C50	40,0 b	77,2 a	85,5 a	
	S50H50	37,2 a	82,3 a	86,7 a	
	S50C25H25	14,4 b	76,4 a	84,6 a	
<i>Hojas (N°)</i>	100 Turba comercial	0,9 a	1,9 a	2,8 a	3,2 a
	S50C50	0,9 a	1,8 a	2,4 b	3,1 a
	S50H50	0,9 a	1,9 a	2,5 ab	3,2 a
	S50C25H25	1,0 a	1,9 a	2,2 b	3,1 a
<i>Peso seco radical (mg planta⁻¹)</i>	100 Turba comercial	3,0 a	6,1 b	28,1 a	42,9 a
	S50C50	3,0 a	6,7 b	18,5 b	31,0 a
	S50H50	2,8 a	8,8 a	24,6 ab	54,8 a
	S50C25H25	3,4 a	7,6 ab	20,7 ab	35,2 a
<i>Peso seco aéreo (mg planta⁻¹)</i>	100 Turba comercial	17,1 a	47,4 a	211 a	254 a
	S50C50	19,5 a	44,6 a	80 a	157 b
	S50H50	18,1 a	51,5 a	111 a	207 ab
	S50C25H25	19,8 a	45,7 a	90 a	166 b

Promedios con igual letra en las columnas correspondientes a cada parámetro, indican diferencias no significativas entre tratamientos, según Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

*dde: días después de emergencia

S (*Sphagnum magellanicum*); C (compost); H (humus).

ADAPTACIÓN METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE EXTRACTO CELULAR PECIOLAR EN VID

Adjustment of petiole cellular extract methodology for grapevine

Paulina Pino¹, Rodrigo Callejas², Bruno Razeto² y Gabino Reginato²

⁽¹⁾Centro Regional de Estudios Agronómicos Atacama de la Universidad de Chile, UCHILECREA. Rómulo J. Peña 231, Copiapó, Chile. paupino@uchile.cl.

⁽²⁾Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santa Rosa 11.315, La Pintana, Casilla 1004, Santiago, Chile. rcalleja@uchile.cl, brazeto@uchile.cl, greginat@uchile.cl.

RESUMEN

Tradicionalmente, se han analizado pecíolos y láminas para determinar el estado nutricional en la vid, pero ambos análisis suelen presentar inconsistencias entre el potencial productivo y los niveles dados por los estándares. Esta razón ha motivado la búsqueda de otros tejidos para el diagnóstico nutricional, siendo el extracto peciolar una alternativa. Para analizar el extracto celular de pecíolo existen metodologías estandarizadas, sin embargo, en ocasiones éstas no pueden aplicarse porque el procedimiento está obsoleto o porque en el laboratorio no está disponible la tecnología para algún elemento nutricional en particular, por lo cual se requiere ajustar alguna existente. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar y validar la metodología de extracto peciolar para vid, adaptando la metodología desarrollada por Hernando y Cadahía (1973), para tomate, ajustando el procedimiento de toma de muestra y estabilización; extracción, filtrado y conservación; desproteínización y fraccionamiento; mineralización de la fracción aniónica y catiónica. Se analizaron diversos procedimientos para la determinación de nitrato, amonio, fósforo y potasio, considerando como criterio de selección un 80-120% de recuperación de la muestra, y se estimó la cantidad mínima de repeticiones necesarias para obtener un resultado representativo.

Palabras clave: análisis de savia, estandarización, calibración, Hernando y Cadahía.

ABSTRACT

Petioles and blades have been traditionally used to determine grapevine nutritional status. Nevertheless, both have shown inconsistency between yields and optimal nutrient levels, encouraging the search for nutritional diagnosis with different plant tissues including petiole extract. Several petiole extract methodologies have been described, but sometimes they are not possible to apply because obsolescence procedures or because lack of adequate technology to determine a particular nutritional element. For those reasons, it is necessary to adjust an existing methodology for a specific crop. The objective of this study was to develop and validate the Hernando & Cadahía (1973) petiole extract methodology described for tomato, adapting it for grapevine. Procedures of petioles sampling and stabilization; extraction, filtering and conservation; protein precipitation and partitioning; cationic and anionic mineralization were adapted, and analytical procedures were used for nitrate, ammonium, phosphate and potassium determination, using a selection criteria of 80-120% substance

recuperation. Also, minimum number of replicates needed to obtain an accurate result was estimated.

Key word: sap analysis, standardization, calibration, Hernando & Cadahía.

INTRODUCCIÓN

En vid, tradicionalmente se ha empleado como técnica de diagnóstico nutricional el análisis de peciolo en flor y de lámina en flor y envero. No obstante, ambos tejidos han presentado inconsistencias entre potencial productivo y niveles nutricionales (Ruiz, 2000; Rombolá y Sorrenti, 2006), lo que ha sido una limitante para mejorar el manejo de la fertilización. Otro inconveniente, de ambos análisis, es el tiempo que requieren en la preparación y análisis de la muestra en el laboratorio (lavado, secado, triturado, digestión y análisis), pudiendo tardar al menos 10 días en la entrega de los resultados (Nagarajah, 1999; Alcántar et al., 2002), pues los sistemas de diagnóstico nutricional debieran ser rápidos, eficientes y que permitan realizar correcciones inmediatas en el programa de fertilización y en el estado fenológico correspondiente (Castellanos, 1999; Gaviola y Lipinski, 2004).

En la búsqueda de mejores indicadores del estatus nutricional en vid, se ha recurrido al análisis de otros tejidos, como raíces, yema floral, sarmientos, inflorescencia, brotes, raquis y bayas (Pérez, 1990; Silva y Rodríguez, 1995; Fregoni, 1998; Ruiz, 2000; Rombolá y Sorrenti, 2006; Gil y Pszczółkowski, 2007). Además, se ha desarrollado el análisis de extracto peciolar, por tratarse de una metodología más sensible en el diagnóstico de deficiencias y excesos en la nutrición de distintas especies hortícolas y frutales (Hidalgo *et al.*, 2006), ya que ha presentado mayor variabilidad en la concentración de los nutrientes que el análisis foliar (Villeneuve et al., 2002). Además, es una

técnica que entrega resultados más rápidos, al prescindir del secado del tejido, y más económica en relación a un análisis convencional (MacKown y Weik, 2004; Capitán et al., 2005).

Al igual que para otros frutales, existe escasa literatura de uso del análisis de extracto peciolar en vid (Nagarajah, 1999; Cadahía, 2005). Por lo cual, la implementación del análisis de extracto peciolar como herramienta de diagnóstico en la vid debe ser evaluada. Para analizar extracto celular de peciolo hay metodologías estandarizadas, sin embargo, en ocasiones, éstas no pueden aplicarse porque el procedimiento puede ser obsoleto o porque en el laboratorio no está disponible la tecnología para determinar algún elemento nutricional. Para disponer de una herramienta alternativa de evaluación nutricional en vid, se requiere desarrollar y validar alguna metodología existente (Eaton et al., 2005). Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue validar la metodología del extracto peciolar, propuesta para tomate por Hernando y Cadahía (1973).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para disponer de material vegetal con diferente concentración de nutrientes, se realizaron tres ensayos de fertilización con N-P-K, uno por cada elemento, en diseños completamente aleatorizados. Esto se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, y las evaluaciones químicas se realizaron en el Laboratorio Analab Chile S.A.

El material vegetal correspondió a 150 plantas autoenraizadas de vid, de la variedad Red Globe de un año de edad, plantadas individualmente en macetas de 20 litros, en un sustrato de arena gruesa. La fertilización se efectuó una vez por semana, en los meses de enero y febrero del 2007, repartiendo las dosis indicadas en el Cuadro 1, en 8 semanas. Las sales empleadas

fueron nitrato de amonio (33-0-0), ácido fosfórico (0-62-0) y sulfato de potasio (0-0-51). Luego de haber completado la fertilización se procedió a coleccionar las muestras foliares y de pecíolos, a mediados de marzo. El muestreo se realizó entre las 9 y 13 horas, después de un riego, tomando

todas las hojas y pecíolos de la planta. En el extracto peciolar se midió la concentración de nitrato (NO_3), amonio (NH_4), fosfato (PO_4) y potasio (K).

Cuadro 1. Dosis de fertilización por maceta para cada ensayo y tratamiento.

Table 1. Fertilization dose per plant for each trial and treatment.

Tratamientos	Dosis N	Dosis P_2O_5	Dosis K_2O
g/planta			
Ensayo 1, Nitrógeno			
N-0	0,00	2,44	6,91
N-1	2,56	2,44	6,91
N-2	5,12	2,44	6,91
N-3	7,68 ^{1/}	2,44	6,91
N-4	9,60	2,44	6,91
Ensayo 2, Fósforo			
P-0	7,68	0,00	6,91
P-1	7,68	0,98	6,91
P-2	7,68	1,47	6,91
P-3	7,68	2,44 ^{1/}	6,91
P-4	7,68	3,42	6,91
Ensayo 3, Potasio			
K-0	7,68	2,44	0,00
K-1	7,68	2,44	2,30
K-2	7,68	2,44	4,61
K-3	7,68	2,44	6,91 ^{1/}
K-4	7,68	2,44	9,22

^{1/} Dosis normales para cada elemento

Se adaptaron las diferentes etapas de la metodología descrita para tomate por Hernando y Cadahía (1973): toma de muestra y estabilización; extracción, filtrado y conservación; desproteinización y fraccionamiento; mineralización de la fracción aniónica y catiónica.

Se preparó una solución estándar, con las concentraciones esperadas en el extracto peciolar de vid, de nitrato, amonio, fosfato y potasio. Con ésta se calibró la etapa de fraccionamiento y se

analizaron diferentes metodologías para la evaluación de nitrato, amonio, fosfato y potasio.

Para el análisis de NO_3 se evaluó: destilación con Devarda, electrodo específico, espectrofotometría de absorción molecular y colorimetría (reducción de columna de Cd). Para el PO_4 se empleó colorimetría con fosfovanadomolibdato. En la determinación del NH_4 se comparó la destilación directa con electrodo específico. Finalmente, para la evaluación de K se utilizó espectrofotometría de absorción atómica. El criterio de selección de la

metodología a usar, para la evaluación de cada elemento, fue considerando un 80-120% de recuperación de la muestra (Eaton et al., 2005).

En una segunda etapa se empleó la metodología estandarizada en el análisis de las muestras de terreno y se controló la calidad del procedimiento de desproteización y fraccionamiento y de la determinación de los elementos mencionados. Se usó un blanco (agua destilada), reactivo blanco (agua destilada más todos los reactivos que entraron en contacto con la muestra durante el proceso analítico), el reactivo estándar utilizado en la calibración de la técnica, y un batch de 10 columnas de fraccionamiento (Eaton *et al.*, 2005). El reactivo blanco fue empleado para detectar alguna contribución por parte de él, que deben ser sustraídos de la muestra, y detectar algún error en cualquier paso del procedimiento.

Análisis estadístico

Para cada curva de calibración se realizó regresiones lineales entre las concentraciones teóricas con que se preparó cada estándar y las concentraciones obtenidas en su evaluación, determinando sus parámetros más importantes.

Con la finalidad de estimar la cantidad mínima de repeticiones necesarias a realizar por el laboratorio para entregar resultados representativos, se determinó la potencia y número de repeticiones requeridas para la evaluación de NO_3 , NH_4 , PO_4 y K en el extracto peciolar de vid. La evaluación de cada elemento se realizó con tres repeticiones y se estimó la potencia de cada resultado y, además, se determinó la cantidad de repeticiones necesarias para obtener una potencia de 70; 80 y 90%.

Resultados y discusión

A continuación se detalla el procedimiento analítico modificado, y por etapas, de la evaluación del extracto celular de peciolo de uva de mesa.

Toma de muestra, trozado y congelado

La toma de muestra se debe realizar entre 9:00 y 12:00 horas, momento del día donde no hay variaciones significativas en el contenido de nutrientes por diferente intensidad lumínica (Hernando y Cadahía, 1973). No obstante, Nagarajah (1999) sugiere que dicha recolección se efectúe entre las 8:00 y 9:30 h, momento donde no apreció diferencias en la concentración de nitrato y potasio para el análisis de extracto peciolar de vid "Thompson Seedless".

El uso de una prensa de acero para la obtención de extracto peciolar (Hernando y Cadahía, 1973) fue inaplicable con el peciolo de vid, por ser un tejido fibroso (Nagarajah, 1999); esta dificultad fue superada con el congelamiento rápido de trozos menores a 0,5 cm de largo en éter etílico más hielo seco a -60 ó -70 °C, para provocar la ruptura celular, y posterior trituración del mismo. Como método alternativo, el congelamiento se puede realizar con nitrógeno líquido. Este procedimiento debe realizarse para evitar la subestimación de los nutrientes presentes en el extracto peciolar (Nagarajah, 1999). Además, esta práctica ofrece la flexibilidad de almacenar las muestras congeladas a -20 °C.

Trituración, centrifugado y filtrado

Se pesan 30 g de peciolo congelado y se añaden 30 g de agua destilada, y se tritura en una licuadora por un minuto, aproximadamente; luego se centrifuga a 2451 g, por 5 minutos; el líquido se filtra con papel filtro Whatman n° 41.

Desproteización y fraccionamiento

Para precipitar las proteínas de la muestra filtrada se utilizó alcohol etílico absoluto (desionizado con 1% de ácido acético reactivo). La fracción proteica se separó por centrifugación y se purificó por lavado con alcohol etílico (del 75% en volumen con 1% de ácido acético reactivo). El fraccionamiento separa la fracción aniónica y las moléculas no polares, quedando retenida en las resinas catiónicas, fuertemente

ácidas, la fracción catiónica inorgánica y orgánica.

Las soluciones estándares se prepararon, de acuerdo a los valores esperados para el extracto peciolar de vid, en agua destilada con sales de, al menos, 95% de pureza, para obtener $1500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de NO_3 ; $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de NH_4 ; $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de PO_4 y $6000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de K. Se usó agua destilada como blanco.

Para la preparación de la muestra, se colocó una alícuota de 4 mL del filtrado en un tubo de centrifugación y se añadió 12 mL de alcohol etílico absoluto desionizado con 1% de ácido acético reactivo; se dejó reaccionar por 8 horas a 1°C , para conseguir la precipitación completa de la fracción proteica. La fracción proteica se separó por centrifugación a 2.451 g, por 5 minutos; luego se tomó una alícuota de 15 mL de la muestra sin el depósito proteico, del fondo del tubo de centrifugación.

El depósito de la centrifugación se suspendió en 14 mL de alcohol de lavado y se centrifugó nuevamente; el sobrenadante se mezcló con el de la centrifugación anterior. Este paso se repitió una segunda vez, generando 44 mL de muestra.

Para la preparación de las columnas de fraccionamiento, se colocó lana de vidrio en el fondo de cada bureta. Se pesó 6 g de resina catiónica en seco y se cubrió completamente con de HCl 4 N durante 30 min, para activarla; la resina se trasladó a la columna, evitando burbujas de aire en la lana de vidrio y en la resina, y se lavó con agua destilada hasta que el agua del lavado presentara pH neutro, manteniendo la resina siempre hidratada, cubierta con 1-2 cm de agua destilada por encima de ella.

Una vez activada la resina se comenzó el fraccionamiento de los sobrenadantes, haciendo eluir la muestra, regulando el goteo a 1 mL por minuto, obteniéndose la fracción de aniones. Se

descartaron los primeros 4 mL, equivalentes al 50% del volumen ocupado por el agua destilada que mantiene hidratada a la resina. La elución se recibió en matraces de 200 mL. Una vez eluida la muestra, la resina se lavó con agua destilada, hasta completar dicho aforo con una velocidad de flujo de $8 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

Para eluir los cationes retenidos en la resina, se eluyeron 44 mL de HCl 4 N, con la misma velocidad de flujo anterior, y se descartaron los primeros 4 mL; la elución se recibió en matraces de 200 mL. Luego de eluir los 44 mL de HCl, la resina se lavó con agua destilada hasta completar los 200 mL para eliminar el HCl.

La regeneración de la resina se realizó cada 35 eluciones, ya que la capacidad de intercambio catiónico de ésta es de $1388 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCO}_3$.

Determinación de nitrato

En la fracción de aniones se evaluó por espectrofotometría de absorción molecular en el rango ultravioleta; se midió la absorbencia a 220 y a 275 nm, de la muestra y de agua destilada, pues la materia orgánica absorbe a 220 nm a diferencia del NO_3 . Además, se evalúa la presencia de NO_3 en la fracción de cationes.

La muestra se preparó tomando una alícuota de 15 mL, se le añadió 1 mL de HCl y se aforó con agua destilada a 50 mL.

La curva de calibración se construyó con concentraciones de 0; 2; 5; 10; 15 y $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, a partir del estándar de $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de NO_3 .

El cálculo de NO_3 se realizó introduciendo los valores de absorbencia en la curva de calibración, para obtener los coeficientes A y B señalados en la siguiente fórmula:

$$(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) \text{NO}_3 = \frac{(A - B) \times V \times C}{D \times 2}$$

Donde:

A : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de NO_3 en la muestra

B : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ promedio de NO_3 en los blancos
 V : volumen final (mL)
 C : volumen de la elución (mL)
 D : alícuota de la muestra (mL)
 2 : factor de dilución utilizado en la trituración (o mL reales de extracto peciolar)

La sensibilidad del método fue de 0 a $682 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de NO_3 . Un método confirmativo o alternativo para la determinación del NO_3 es electrodo específico.

Determinación de fosfato

El fósforo se evaluó en la fracción de aniones y también en la de cationes, por colorimetría del fosfo-vanadomolibdato, midiendo la absorbencia de PO_4 a 466 nm.

La curva de calibración se preparó a partir del estándar certificado de $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ P, con concentraciones de 0; 1; 4; 12 y $16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Para la preparación de la muestra se tomó una alícuota de 1 mL de la muestra, se le añadió 4 mL de nitro-vanadomolibdato, se agitó y se dejó reaccionar por una hora. Posteriormente se leyó la absorbencia contra agua destilada a 466 nm.

El cálculo se realizó con las lecturas de absorbencia observadas en la curva de calibración para obtener la concentración de P de la muestra y del blanco. Para estimar la concentración de fosfato se aplicó la siguiente fórmula:

$$(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) \text{PO}_4 = \frac{(A - B) \times 3,07 \times C}{2}$$

Donde:

A : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de P en la muestra
 B : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ promedio de P en los blancos
 C : volumen de la elución (mL)
 3,07 : factor para transformar P a PO_4
 2 : factor de dilución utilizado en la trituración (o mL reales de extracto peciolar)

La sensibilidad del método es de 0 a $16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de P; el método confirmativo o alternativo para la determinación del fósforo es espectrofotometría de emisión o ICP.

Determinación de amonio

El NH_4 se determinó en la fracción de cationes por destilación de NH_3 y titulación manual. Del mismo modo, se evaluó en la fracción de aniones.

Para la preparación de la muestra, se tomó una alícuota de 25 mL de muestra y se depositó en el tubo de destilación Kjeldahl, añadiéndole unas gotas de fenolftaleína, y se ubicó en el destilador agregando 5 mL NaOH 50% v/v, aproximadamente. En un matraz Erlenmeyer se introdujeron 20 mL de ácido bórico-indicador Tashiro, y se colocó bajo el extremo del condensador. Se destiló hasta obtener 100 mL en el matraz Erlenmeyer; se sacó el matraz y el tubo del destilador, se lavó el extremo del condensador y se tituló el destilado con H_2SO_4 0,005 N hasta que el color cambió de verde a rosado.

La concentración de amonio se calculó como:

$$(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) \text{NH}_4 = \frac{(A - B) \times N \times 18 \times C \times 1000}{D \times 2}$$

Donde:

A : mL gastado de H_2SO_4 en la titulación muestra
 B : mL promedio gastado de H_2SO_4 en la titulación de los blancos
 N : concentración en normalidad del H_2SO_4
 18 : peso equivalente del NH_4
 C : volumen de la elución (mL)
 1000 : factor para expresar la concentración de NH_4 en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
 D : alícuota de muestra destilada (mL)
 2 : factor de dilución utilizado en la trituración (o mL reales de extracto peciolar)

La sensibilidad del método es de 0 a $105 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de NH_4 , aproximadamente, aunque puede variar

según la concentración del H_2SO_4 . El método confirmativo o alternativo es la determinación del ion NH_4 por colorimetría.

Determinación de potasio

El potasio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (llama) en la fracción de cationes y de aniones.

La muestra se preparó con una alícuota de 5 mL de muestra, que se depositó en un matraz de aforo de 50 mL; se le añadió 5 mL de HCl 50% v/v más 5 mL de solución de SrCl 1% (5g $\text{SrCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 500 mL); luego se aforó con agua destilada. Posteriormente se leyó la absorbencia a 766,5 nm.

La concentración de potasio se calculó como:

$$(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) \text{ K} = \frac{(A - B) \times C \times D}{E \times 2}$$

Donde:

- A : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de K en la muestra
- B : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ promedio de K de los blancos
- C : volumen final (mL)
- D : volumen de la elución (mL)
- E : alícuota de la muestra analizada (mL)
- 2 : factor de dilución de la tritución (o mL reales de extracto peciolar)

La sensibilidad del método es 0 a 20 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de K, aunque puede variar según la concentración de la curva de calibración empleada. El método confirmativo o alternativo es la determinación del K por espectrofotometría de emisión de llama.

Mínimo de repeticiones

Para obtener resultados representativos, tres repeticiones fue, en general, suficiente para alcanzar una potencia superior al 95%, para nitrato, amonio, fosfato y potasio (Cuadro 2); la excepción fue el nitrato en el ensayo de potasio, donde cinco repeticiones habrían sido idóneas para lograr una potencia de 90%.

Cuadro 2. Potencia para la determinación de nitrato, amonio, fosfato y potasio en ensayos con dosis crecientes de nitrógeno, fósforo y potasio.

Table 2. Potency of the analysis when nitrate, ammonium, phosphate and potassium were determined in trials with increasing doses of nitrogen, phosphorus and potassium.

ξ						
Nutriente	d ^{1/}	Desviación estándar	Repeticiones			Potencia del análisis (P) ^{3/}
			(P = 70%) ^{2/}	(P = 80%)	(P = 90%)	
Ensayo de dosis crecientes de nitrógeno						
NO ₃	2830,9	193,5	2	2	2	100,0
NH ₄	54,3	1,9	2	2	2	100,0
PO ₄	2276,2	97,1	2	2	2	100,0
K	1919,6	130,7	2	2	2	100,0
Ensayo de dosis crecientes de fósforo						
NO ₃	1700,2	343,4	2	3	3	98,0
NH ₄	40,5	2,6	2	2	2	100,0
PO ₄	3942,2	204,9	2	2	2	100,0
K	979,7	193,5	2	3	3	98,4
Ensayo de dosis crecientes de potasio						
NO ₃	1276,6	394,7	3	4	5	71,1
NH ₄	78,3	1,72	2	2	2	100,0
PO ₄	1269,1	137,1	2	2	2	100,0
K	1772,2	262,1	2	2	2	99,9

^{1/} d: Diferencia máxima entre promedios de los tratamientos.

^{2/} Número de repeticiones requeridos para cada nivel de potencia.

^{3/} Potencia obtenida con tres repeticiones en extracto peciolar de vid.

Conclusiones

Las modificaciones realizadas a la metodología de análisis de extracto peciolar de tomate (Hernando y Cadahía, 1973) permiten su utilización en la vid.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

ALCÁNTAR, G.; M. SANDOVAL, J. CASTELLANOS, F. MÉNDEZ, P. SÁNCHEZ and M. N. RODRÍGUEZ. 2002. Diagnostic methods to evaluate nutrient status of garlic, onion and broccoli. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33(15-18): 2585-2598.

CADAHÍA, H. 2005. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 683 p.

CAPITÁN L. F.; E. ARROYO, M. D. FERNÁNDEZ and F. SANTOYO. 2005. Disposable receptor-based optical sensor for nitrate. *Analytical Chemistry* 77: 4459-4466.

CASTELLANOS, J. 1999. Nutrición de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Informaciones Agronómicas* N° 35: 5-11.

EATON, A.; L. CLESCERI, E. RICE and A. GREENBERG. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. Centennial Edition. 1368 p.

FREGONI, M. 1998. *Viticultura di qualità*. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.L. Verona, Italia. 707 p.

GAVIOLA, S. y V. LIPINSKI. 2004. Evaluación de rendimiento y nitratos en ajo cv. Nieva INTA con riego por goteo. *Agricultura Técnica (Chile)* 64(2): 172-181.

GIL, G. y P. PSZCZÓLKOWSKI. 2007. *Viticultura: fundamentos para optimizar producción y calidad*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 535 p.

HERNANDO, V. y C. CADAHÍA. 1973. El análisis de savia como índice de fertilización, estudio comparativo con el análisis foliar.

Manuales de Ciencia Actual N° 7. CSIC, Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Madrid. España. 167 p.

HIDALGO, J.; I. FRUTOS, J. NIETO, C. CADAHÍA, C. VEGA y M. PASTOR. 2006. Fertilización potásica en olivar de regadío de la variedad Picual. Influencia sobre el contenido de potasio en hoja, savia y frutos. *Fruticultura Profesional* 161: 107-111.

MACKOWN, C. and J. C. WEIK. 2004. Comparison of Laboratory and Quick-Test Methods for Forage Nitrate. *Crop Science* 44: 218-226.

NAGARAJAH, S. 1999. A petiole sap test for nitrate and potassium in Sultana grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 5: 56-60.

PÉREZ, J. 1990. Nutritional diagnosis of grapevines for table grapes. *Aconex (Chile)* 30: 10-15.

ROMBOLÁ, A. y G. SORRENTI. 2006. Fertilización y diagnosis del estado nutricional de las especies frutales. *Fruticultura profesional* 161(sept-oct): 5-18.

RUIZ, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agricultura Técnica* 60(4): 379-398.

SILVA, H. y J. RODRÍGUEZ. 1995. *Fertilización de plantaciones frutales*. Colección en Agricultura, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 519 p.

VILLENEUVE, S.; J. COULOMBE, C. BELEC and N. TREMBLAY. 2002. A comparison of sap nitrate test and chlorophyll meter for nitrogen status diagnosis in Broccoli (*Brassica oleracea* L. spp. italica). *Acta Horticulturae* 571: 171-177.

Anexo 1. Diferencias entre la metodología de extracto celular de pecíolo de tomate de Hernando y Cadahía (1973) y la adaptada para vid.

Etapa del procedimiento	Tomate	Vid
	Recolección de muestras entre las 8:00 y 12:00 AM.	Recolección de muestras entre las 8:00 y 9:30 AM.
Toma de muestra, trozado y congelado	En terreno, los pecíolos se limpian con algodón humedecido con agua destilada, se secan con papel filtro y se cortan en pedazos de 0,5 a 1 cm e introducirlos en frascos con éter etílico más hielo seco. Llevar en una nevera al laboratorio.	En terreno se colectan hojas más pecíolos, se guardan en bolsas de papel dentro de una nevera a baja temperatura y se lleva rápidamente al laboratorio en donde se limpian, trozan y congelan. El congelado se realiza introduciendo los pecíolos dentro de termos con éter etílico más hielo seco. La operación se efectúa dentro de una cámara gases.
Fraccionamiento	Sin estándar de referencia.	Se desarrolló un estándar de referencia para determinar el correcto funcionamiento de la resina.
Trituración, centrifugado y filtrado	En vez de triturar y centrifugar los pecíolos congelados se prensan, el líquido se recibe en columnas de decantación y se espera la separación del éter con la savia. Luego se filtra en papel Albet 242 varias veces hasta obtener una muestra transparente.	Se utiliza licuadora para la trituración, una centrifuga para la separar lo sólido de lo líquido, y luego se filtra en papel Whatman nº 41.
Determinación de nitrato	Se determina por colorimetría, del ácido fenoldisulfónico, midiendo la absorbencia a 440 nm.	Se evaluó por espectrofotometría de absorción molecular en el rango ultravioleta, se midió la absorbencia a 220 y a 275 nm.
Determinación de fosfato	Se evalúa por colorimetría del ácido fosfomolibdico, midiendo la absorbencia a 578 nm.	Se estimó por colorimetría del fosfovanadomolibdato, midiendo la absorbencia a 466 nm.
Determinación de potasio	Se determina por espectrofotometría de emisión de llama, no se especifica rango de absorbencia.	Se midió por espectrofotometría de absorción atómica (llama), midiendo la absorbencia a 766,5 nm.

OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL GLICEROL RESIDUAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL: UNA REVISIÓN

Obtaining of biogas from residual glycerol from biodiesel production: A review

Claudia Santibáñez¹, María Teresa Varnero², Ian Homer², Jorge Wicha¹, Andrés Gálmez¹

¹Universidad Mayor, Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias, Camino La Pirámide 5750, Huechuraba, Santiago, Chile. claudia.santibanez@umayor.cl

²Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

RESUMEN

El principal subproducto del proceso de producción de biodiesel es el glicerol. El glicerol corresponde a una cadena simple de tres alcoholes que aparece cuando los triglicéridos de los aceites vegetales se rompen en ácidos grasos libres (AGL) y la molécula de glicerol. Los ácidos grasos reaccionan con el metanol para formar biodiesel. La cantidad de glicerol que se forma en la reacción depende de la cantidad de AGL que tiene el aceite que se usa en el proceso. En general, por cada 100 kg de biodiesel producido, se generan aproximadamente 10 kg de glicerol. Los costos de los procesos de purificación de glicerol residual son muy elevados, lo que limita su uso en las industrias de alimentos, farmacéutica y cosmética. Por esta razón, los productores de biodiesel deberían encontrar métodos alternativos de disposición y/o uso de este residuo masivo.

Esta revisión proporciona una discusión sobre el uso de glicerol residual como sustrato para la co-digestión anaeróbica y la producción de biogás. Diversos estudios han demostrado que el uso de glicerol como fuente de C para la fermentación y generación de biogás es una alternativa prometedora para este residuo. El alto contenido de C del glicerol aumenta la relación C:N en la mezcla, evitando la inhibición del proceso por exceso de N, incrementando la producción de metano en los digestores entre 50 a 200%. La co-digestión anaeróbica del glicerol mezclado con diversos residuos orgánicos constituye una

solución integral para utilizar diversos residuos y disponer de una fuente de bioenergía amigable con el medioambiente.

Palabras clave: co-digestión anaeróbica, glicerol residual, biogás y biodiesel.

ABSTRACT

The main byproduct of the process of biodiesel production is glycerol. Glycerol is a simple chain of three alcohols that appears when vegetable oil triglycerides are broken down into free fatty acids (FFA) and a glycerol molecule. Fatty acids react with methanol to form biodiesel. The amount of glycerol formed in the reaction depends on the amount of FFA that has the oil used in the process. In general, for every 100 kg of biodiesel produced generates approximately 10 kg of glycerol.

The costs of the processes of residual glycerol purification are very high, which limits its use in the food, pharmaceuticals or cosmetics industries. Therefore, biodiesel producers must find alternative methods of disposal and/or use of this massive waste. This review provides a discussion on the use of residual glycerol as co-substrate for anaerobic digestion and biogas production. Several studies have shown that the use of glycerol as carbon source for fermentation and biogas generation is a promising alternative

for this residue. The high C content of glycerol increases the C: N ratio in the mixture, avoiding the inhibition of the process by N excess, and increasing the production of methane from 50 to 200%.

The anaerobic co-digestion of glycerol mixed with several organic residues is a comprehensive solution to manage organic residues and to produce an environmental friendly source of bio-energy.

Keywords: Anaerobic co-digestion, residual glycerol, biogas and biodiesel.

INTRODUCCIÓN

Las limitadas reservas de combustibles fósiles, el creciente precio del petróleo y la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ resultantes de la combustión de combustibles fósiles, han promovido la búsqueda de nuevas tecnologías, para producir nuevos tipos de combustibles líquidos como alternativa a los combustibles tradicionales (Saydut et al., 2008; Chapagain et al., 2009). Dentro de las alternativas potenciales, el biodiesel se ha posicionado como una opción viable debido a diversas razones. El biodiesel consiste en un metil éster de ácidos grasos, obtenido mediante la reacción de un triglicérido con un alcohol, tal como metanol o etanol en presencia de un catalizador. La disponibilidad de materias primas para la producción de biodiesel son múltiples y presentan mayor uniformidad espacial que el diesel convencional. Técnicamente, el biodiesel puede competir con el diesel convencional sin requerir mayores modificaciones de los motores (Labeckas y Slavinskas, 2006; Raheman y Ghadge, 2007). En comparación con el diesel convencional, el biodiesel presenta ventajas de ser biodegradable, renovable, no tóxico y emitir bajas concentraciones de contaminantes, especialmente SO₂ (Chen et al., 2007).

Durante el proceso de producción de biodiesel se genera un subproducto masivo denominado glicerol y se estima que por cada 10 toneladas de biodiesel producido, se genera aproximadamente 1 tonelada de glicerol residual (Dasari et al., 2005). Sin embargo, el glicerol residual derivado de la producción de biodiesel tiene un bajo valor comercial debido al alto grado de impurezas que presenta (Dasari et al., 2005). Para poder utilizar este subproducto en industrias de alimentos, cosméticos o medicamentos, se requieren complejos y costosos procesos de purificación, que generalmente se encuentran fuera del alcance de la viabilidad económica de las plantas de pequeña y mediana escala.

A medida que la industria del biodiesel sigue creciendo exponencialmente a nivel mundial, la generación masiva de glicerol residual se ha constituido en un importante problema ambiental para esta industria. Por ello, la valorización para usos alternativos de este subproducto constituye un importante desafío que, adicionalmente, puede contribuir a aumentar los retornos económicos de esta industria emergente. En este sentido, la generación de biogás se presenta como una de las alternativas más prometedoras para el desarrollo de un sistema de energía renovable y limpia a través del uso del glicerol residual.

La producción total de biogás mediante digestión anaeróbica ha ido en constante aumento en los últimos años (Demirbas y Balat, 2006). El poder calorífico del metano (55.5 MJ/kg), el principal componente del biogás, es equivalente a 1.2 kg de diesel o 3.7 kg de leña. La productividad de los digestores anaeróbicos puede ser mejorada significativamente mediante el suplemento de un co-sustrato fácilmente digerible (Angelidaki y Ahring, 1997; Fountoulakis et al., 2008). El glicerol es una sustancia fácilmente digerible, la cual además puede ser almacenada fácilmente por largos períodos de tiempo. Estas ventajas, hacen al

glicerol un co-sustrato ideal para el proceso de digestión anaeróbica

Características del glicerol residual

La producción de biodiesel genera una gran cantidad de subproductos y residuos, tales como gluten, torta de prensado, aguas residuales y glicerol residual (Schievano *et al.*, 2009). Dentro de estos residuos, el glicerol es el subproducto más masivo que se genera en la industria del biodiesel. En general, por cada 10 toneladas de biodiesel producido se genera 1 tonelada de glicerol. El glicerol residual generado mediante una reacción de trans-esterificación en presencia de un catalizador alcalino homogéneo contiene aproximadamente 50 a 60% de glicerol, 12 a 16% de álcalis, especialmente en la forma de jabones e hidróxidos, 15 a 18% de metil-ésteres, 8 a 12% de metanol y 2 a 3% de agua. Adicionalmente, el glicerol crudo contiene una variedad de elementos provenientes del aceite de origen, tales como K (0 a 217 ppm), P (12 a 37 ppm), S (14 a 128 ppm), Na (1.06 a 4.40 ppm), C (24 a 37%), N (0.04 a 0.12%) y proteínas (0.05 a 0.44%). Grandes cantidades de Na o K provienen principalmente de los catalizadores utilizados en la reacción de trans-esterificación (Thompson y He, 2006; Kocsisová y Cvengos, 2006). Debido a que la tecnología de procesamiento del biodiesel influye directamente sobre las características de los subproductos generados, se espera que las nuevas tecnologías y los catalizadores modernos utilizados en el proceso, puedan cambiar tanto la composición como las opciones de utilización posterior del glicerol residual.

A medida que la producción de biodiesel se incrementa exponencialmente, se espera que el glicerol residual generado en el proceso crezca constantemente a la misma velocidad. Por ello, se presume que habrá un superávit de glicerol en el mercado mundial (Adhikari *et al.*, 2007).

Opciones de uso del glicerol residual

Adicionalmente, la rentabilidad del biodiesel podría estar determinada en parte por la forma en cómo se utilice este subproducto (Suppes, 2006).

A pesar de las múltiples aplicaciones del glicerol en las industrias farmacéutica, alimentos y cosmética, la refinación del glicerol residual a un producto de alta pureza es un proceso extremadamente costoso, especialmente para productores de biodiesel de pequeña y mediana escala (Pachauri and He, 2006). Para mejorar la rentabilidad de la industria de biodiesel, se han generado nuevas alternativas para el uso del glicerol residual del proceso. Dentro de las alternativas para la valorización del glicerol residual se encuentran la combustión, compostaje, alimentación animal, conversiones termoquímicas y biológicas, entre otras (Luo *et al.*, 2008; Pyle, 2008; Slinn *et al.*, 2008; Valliyappan *et al.*, 2008; Da Silva *et al.*, 2009; H'ajek and Skopal, 2010; Rahmat *et al.*, 2010).

El glicerol presenta una buena capacidad de combustión, proporcionando 16 MJ por kilogramo de glicerol, el cual puede proporcionar la energía en el proceso de producción de biodiesel o en otras aplicaciones. Sin embargo, el uso del glicerol como combustible presenta importantes desafíos relacionados con problemas de seguridad, técnicos y costos. El glicerol presenta una alta viscosidad, una temperatura de auto-ignición elevada y un bajo poder calorífico. Esto implica que el flujo del producto hasta un quemador es complejo, es difícil de quemar y mantener la combustión de éste. Adicionalmente, si el glicerol no se combustiona completamente, y puede resultar en la formación de aldehídos tóxicos como la acroleína (Deleplanque *et al.*, 2010). Por esta razón, la comercialización de este subproducto como combustible ha presentado diversas restricciones.

Por otra parte, debido a que el glicerol residual no es una sustancia tóxica, presenta un alto potencial para utilizarse como aditivo en el proceso de compostaje. Sin embargo, existen pocos estudios publicados en los cuales se utilice el glicerol como sustrato para el compostaje (Sadano et al., 2010).

Dentro de estas diferentes opciones, la producción biológica de metano a partir del glicerol residual mediante la digestión anaeróbica es una de las que presenta mayores ventajas (Yang et al., 2008; López et al., 2009). Además de la producción de metano, las ventajas incluyen bajos requerimientos de nutrientes, ahorro energético y la generación de un digestato estabilizado que mejora las propiedades del suelo. El glicerol es una sustancia fácilmente digerible, la cual puede ser fácilmente almacenada un largo período de tiempo. El alto contenido de energía del glicerol residual lo hace un interesante sustrato para la digestión anaeróbica, debido a que puede ofrecer una alta producción de biogás en reactores de pequeño volumen.

Una gran variedad de microorganismos son capaces de utilizar este sustrato como fuente de carbono para el crecimiento bajo condiciones anaeróbicas, tales como *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Clostridium pasteurianum*, *Clostridium butyricum*, *Enterobacter agglomerans*, *Enterobacter aerogenes* or *Lactobacillus reuteri* (Solomos et al., 1995; Da Silva et al., 2009).

La producción de biogás mediante la digestión anaeróbica ofrece importantes ventajas en comparación con otros tipos de tratamientos del glicerol. Por ejemplo, requiere menor inversión y condiciones operacionales más simples en comparación con otras tecnologías más sofisticadas de proceso, lo cual lo hace ideal para aplicaciones a nivel local. Otra ventaja que presenta es que genera menor biomasa en forma de lodos, en comparación con las tecnologías de tratamiento aeróbico. Se genera una fuente de

energía que es carbono neutral en forma de biogás.

Proceso de digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso que ocurre naturalmente, mediante el cual los microorganismos anaeróbicos convierten la materia orgánica biodegradable en biogás, en ausencia de oxígeno. Generalmente estos sistemas operan bajo condiciones controladas, sin embargo este proceso es esencial dentro del ciclo global del carbono y ocurre naturalmente en la superficie terrestre en pantanos, suelos y en el intestino de ciertos animales, y en cualquier lugar donde ocurra la degradación anaeróbica de la materia orgánica. El proceso de digestión anaeróbica ocurre con la participación de cuatro grupos diferentes de bacterias en cuatro pasos o reacciones (Figura 1).

Las diversas fermentaciones son llevadas a cabo por diferentes grupos de microorganismos, los cuales generan diversos productos. Estos productos se acumulan temporalmente debido a la relación sinérgica que poseen estos organismos fermentadores, donde los productos de un grupo de organismos sirve de sustrato para el siguiente grupo de organismos en la cadena trófica anaeróbica, conduciendo finalmente a la formación de metano (Gottschalk, 1986).

Co-digestión anaeróbica del glicerol residual

La co-digestión anaeróbica se define como el tratamiento de una mezcla de al menos dos residuos orgánicos de diferente composición, con el propósito de mejorar la eficiencia del proceso anaeróbico. La co-digestión de diversos sustratos, en muchos casos proporciona una opción adecuada para el proceso anaeróbico debido a diversas razones técnicas. Una de las principales razones es la estabilidad del pH y una adecuada capacidad buffer. La elección de los co-sustratos adecuados puede además compensar y balancear la falta de nutrientes o

diluir la concentración de algún agente inhibitorio. Un motivo particularmente relevante para optar por la co-digestión de diversas materias primas es el ajuste de la relación carbono:nitrógeno. Los microorganismos generalmente utilizan C y N en una relación de 25 a 30:1. Sin embargo, la relación C: N puede ser considerablemente más baja que este valor óptimo, por ejemplo los biosólidos de las plantas de depuración de aguas presentan una relación C:N de aproximadamente 9:1 (Kizilkaya and Bayraklı, 2005). Y las materias primas pueden variar considerablemente en sus relaciones C:N y algunos reactores son más afectados que otros por un desbalance en esta relación.

El alto contenido de C orgánico del glicerol ha dado lugar a que se utilice para aumentar la producción de metano en digestores anaeróbicos. Diversos estudios señalan que la digestión de sustancias recalcitrantes fue mejorada por la adición de sustratos de fácil degradación como el glicerol (Amon et al., 2006; Ferreira et al., 2007; Soldano et al., 2007; Álvarez et al., 2010). La co-digestión ofrece diversas ventajas ambientales, tecnológicas y económicas, por lo que puede optimizar el tratamiento de los residuos orgánicos. Esto resulta no sólo en la estabilización y mejor utilización de los nutrientes para una gran variedad de subproductos agrícolas, sino que además incrementa la producción de biogás y de energía.

La co-digestión anaeróbica puede incrementar la producción de metano de los digestores entre 50 a 200%, dependiendo de las condiciones operacionales y los co-sustratos utilizados (Soldano et al., 2007; López et al., 2009; Álvarez et al., 2010).

Actualmente existe un incremento en el número de plantas de co-digestión a gran escala para tratar residuos orgánicos agrícolas e industriales y además existe un interés creciente, especialmente en Europa, en utilizar esta

tecnología para la generación de bioenergía (Weiland, 2000; Raven and Gregersen, 2007; Álvarez et al., 2010). Por otra parte, es bien sabido que la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos produce un subproducto semi-líquido, denominado digestato o bioabono. Este subproducto puede ser utilizado en la agricultura después de un proceso de estabilización.

La producción de metano y composición de algunos residuos orgánicos se muestran en la Tabla 1.

Existen diversos trabajos que han evaluado el uso de glicerol en digestores anaeróbicos. Por ejemplo, Mladenovska *et al.* (2003) encontraron que la mezcla de estiércol de ganado con un 2% de glicerol incrementó significativamente la producción específica de metano (224 a 382 CH₄ g⁻¹ sólidos volátiles día⁻¹) y se observó una mayor remoción de materia orgánica (37 a 51 %) comparado con un digestor sin adición de glicerol. El reactor con adición de glicerol además mostró una mayor densidad de comunidades microbianas y un mayor número de microorganismos metanogénicos. Amon et al. (2006) utilizó digestores batch con purines de cerdo y mostró que la adición de glicerol en diferentes proporciones resultó en un incremento significativo de la producción de metano además de un efecto de co-fermentación. Los efectos de la co-fermentación fueron mayores con adiciones de glicerol entre 3 a 6% y con un contenido de sólidos totales de aproximadamente 4%. Estos autores sugirieron que la adición de glicerol no debe exceder el 6% en volumen para asegurar una operación estable. Los resultados de este trabajo mostraron que con la adición de 15% de glicerol se formaban altas concentraciones de ácido acético. Los autores sugieren que esto pudo haber sido causado por el exceso de carga de glicerol, causando un rápido descenso en el pH, con lo cual se dificulta la producción de metano, debido a que los microorganismos

metanogénicos requieren un largo periodo para poder adaptarse a estos cambios bruscos. Mackay y Rowlands (2008) sugieren que sería posible obtener mejores resultados a altas tasas de carga de glicerol, en la medida que la adición de glicerol se realice gradualmente, de forma de permitir que las bacterias se aclimaten. Por otra parte, el trabajo de Holm-Nielsen et al. (2007) sobre co-digestión de guano con glicerol en reactores de pequeña escala semi-continuos, mostraron que una carga de hasta 3% (v) de glicerol era fácil de manejar e incrementaba la producción de biogás. Sin embargo, cuando la concentración de glicerol en el digestor excedía la concentración de 5 a 7 g L⁻¹, la producción de metano se reducía significativamente por la sobrecarga orgánica.

En otro estudio realizado por Ma et al. (2008), se evaluó la co-digestión de aguas residuales del procesamiento de papa y diferentes tipos de glicerol en un reactor a escala de laboratorio. Este estudio mostró la relación existente entre el grado de pureza del glicerol y el volumen de metano producido. En los ensayos se utilizó tres tipos de glicerol como aditivos: glicerol crudo, glicerol puro y glicerol con alta conductividad eléctrica. Los tres tipos de glicerol fueron digeridos y monitoreados en términos de pH, DQO, ácidos grasos volátiles y producción de biogás. Los autores reportaron que la adición de 2 mL L⁻¹ de glicerol puro a las aguas residuales del procesamiento de papa incrementó la producción específica de biogás en 0.740 m³L⁻¹ de glicerol adicionado (1.5 veces con respecto al control, aproximadamente). Los resultados del estudio mostraron una alta eficiencia en la remoción de DQO (alrededor de 85%) y que el porcentaje de producción de metano disminuía a medida que disminuía la pureza del glicerol.

Sulaiman et al. (2009) realizaron un estudio para evaluar la factibilidad de adicionar glicerol crudo a digestores anaeróbicos de efluentes de palma aceitera. La adición de 1% de glicerol crudo mostró resultados satisfactorios en

términos de eficiencia de remoción de DQO y tasa de producción de metano, con valores de 90% y 505 m³ d⁻¹, respectivamente. Sin embargo, cuando la proporción de glicerol se incrementó hasta 5.25%, la eficiencia de remoción de DQO se mantuvo alta, pero la tasa de producción de metano se redujo significativamente bajo 307 m³ d⁻¹.

Álvarez et al. (2010) realizaron un experimento a escala de laboratorio para maximizar la producción de metano mediante la co-digestión anaeróbica de tres residuos agroindustriales: glicerol crudo, purines de cerdo y residuos de pescado. Los experimentos fueron llevados a cabo utilizando reactores batch de 0.5 L operando bajo condiciones mesofílicas de 35°C. Las mezclas de los diferentes co-sustratos con distintas proporciones fueron introducidas en los reactores. Se utilizó un programa de optimización lineal con el fin de determinar las proporciones de co-sustratos más adecuadas, que permitan obtener el mayor potencial de biodegradación y la mayor tasa de producción de metano. El mayor potencial de biodegradación (producción de metano de 0.321 m³ kg⁻¹ DQO) se obtuvo en la mezcla de 84% de purines de cerdo, 5% de residuos de pescado y 11% de glicerol residual). Por otra parte, la mayor tasa de producción de metano (16.4 L kg⁻¹ d⁻¹ DQO) se obtuvo en la mezcla que contenía: 88% de purines de cerdo, 4% de residuos de pescado y 8% de glicerol residual.

Kacprzak et al. (2009) reportaron un efecto positivo del glicerol como medio de co-fermentación. Estos autores determinaron la combinación óptima de ensilado de maíz, suero y glicerol para obtener la máxima productividad de metano en el biogás. Los sustratos fueron co-digeridos en forma semi-continua en bioreactores de 25 L en condiciones mesofílicas. En los experimentos realizados el contenido de metano del biogás se incrementó constantemente, hasta alcanzar una concentración máxima de 60 a 62%, cuando se

adicionó la mezcla óptima al bioreactor. La tasa de producción de biogás incrementó significativamente desde 1.43 L L⁻¹ d⁻¹ en el experimento con ensilado de maíz y suero hasta 1.82 L L⁻¹ d⁻¹ cuando se adicionaba glicerol a la mezcla.

Fountoulakis et al. (2010) evaluó la factibilidad de adicionar glicerol residual a los digestores anaeróbicos del tratamiento de lodos de plantas de depuración de aguas. Los resultados de este estudio demostraron que la incorporación de glicerol incrementa la producción de biogás cuando éste no excede la concentración límite de 1% (v/v) en la alimentación del digestor. Los autores encontraron que cualquier incremento en la adición de glicerol resultaba en un desbalance en el proceso de digestión. Estos resultados sugieren que si se supera esta proporción de glicerol el proceso, se puede volver inestable y se requeriría un estricto control del pH para evitar la inhibición de las bacterias metano génicas. Un estudio similar fue realizado por Siles et al. (2010) en el cual las aguas de lavado de la industria del biodiesel fueron co-digeridas con glicerol. Las aguas residuales fueron sometidas a un proceso de electro-coagulación con el fin de reducir su contenido de aceite. Después del mezclado, la revalorización de las aguas residuales se evaluó utilizando proporciones inóculo-sustrato en un rango de 5.02 a 1.48 g SV g⁻¹ DQO y tasas de carga orgánica de 0.27 a 0.36 g DQO g⁻¹ SV d⁻¹. Se encontró que la biodegradabilidad era cercana a 100%, en tanto que el coeficiente de producción de metano era de 310 ml CH₄ g⁻¹ DQO removida. Estos resultados muestran que la co-digestión anaeróbica reduce los requerimientos de nutrientes con los consecuentes beneficios económicos, y la valorización de dos subproductos generados durante el proceso de producción de biodiesel.

En otro trabajo, Hutnan et al (2009) evaluó la co-digestión de ensilado de maíz con glicerol en una planta de biogás de gran escala. La

producción específica de biogás a partir del glicerol residual fue de 0.890 m³ kg⁻¹. El glicerol residual adicionado, que representaba sólo el 5.2% de las materias primas utilizadas en la planta de biogás, generaba un 15% de la producción total de biogás. En este estudio se demostró una influencia positiva significativa en el balance económico de la planta de biogás al utilizar el glicerol como co-sustrato.

CONCLUSIONES

El rápido crecimiento de la industria del biodiesel ha generado un significativo excedente de glicerol residual, que es su principal subproducto. Esto ha resultado en una drástica caída en el precio de este producto y ha generado importantes problemas ambientales relacionados con su disposición final. Sin embargo, el glicerol residual presenta un interesante potencial para la generación de biogás.

La viabilidad y el rendimiento de la co-digestión anaeróbica del glicerol residual con otros residuos orgánicos masivos se han estudiado a diferentes escalas y condiciones operacionales.

El glicerol residual de la producción de biodiesel presenta un alto potencial como co-sustrato para mejorar la digestión anaeróbica de diversos residuos orgánicos de distintas agroindustrias como: ensilado de maíz, purines de cerdo, estiércol de ganado, lodos del tratamiento de aguas residuales, residuos sólidos domésticos, aguas residuales del procesamiento de aceites y papas, entre otros. Las aguas de lavado de la purificación del biodiesel también constituyen un material prometedor para la degradación anaeróbica, teniendo en cuenta el alto contenido de sustancias orgánicas fácilmente degradables. Sin embargo, el potencial de generación de biogás no ha sido suficientemente estudiado.

Aunque los resultados de diversas investigaciones son positivos y existen algunas

plantas industriales que utilizan el glicerol residual como co-sustrato, los estudios sobre este tema son aún escasos. La utilización de glicerol como fuente potencial de energía, y no como un desecho, parece ser una manera conveniente de reducir los costos de producción de biodiesel y permitiría hacer más competitiva a esta industria emergente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONICYT por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo a través del proyecto FONDECYT N° 11085043.

REFERENCIAS

- ADHIKARI, S., S. FERNANDO, Y A. HARYANTO. 2007. Production of hydrogen by steam reforming of glycerin over alumina-supported metal catalysts. *Catalysis Today* 129:355-364.
- ANGELIDAKI, I. AND L. ELLEGAARD. 2003. Co-digestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants, status and future trends. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 109:95-105.
- ÁLVAREZ, J.A., L. OTERO, AND J.M. LEMA. 2010. A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. *Bioresource Technology* 101:1153-1158.
- AMON, T., B. AMON, V. KRYVORUCHKO, V. BODIROZA, E. PÖTSCH, AND W. ZOLLITSCH. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series Vol. 1293*. p. 217-220.
- ANGELIDAKI, I., Y. AHRING, B.K. 1997. Co-digestion of olive oil mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. *Biodegradation* 8:221-226.
- CHAPAGAIN B.P., Y. YEHOASHUA, Y. Z. WIESMAN. 2009. Desert date (*Balanites aegyptiaca*) as an arid lands sustainable bioresource for biodiesel, *Bioresource Technology* 100:1221-1226.
- CHEN, H., B. PENG, D. WANG, Y. J. WANG. 2007. Biodiesel production by the transesterification of cottonseed oil by solid acid catalyst. *Frontiers of Chemical Engineering in China* 1:11-5.
- DA SILVA, G.P., M. MACK, AND J. CONTIERO. 2009. Glycerol: a promising and abundant carbon source for industrial microbiology. *Biotechnology Advances* 27:30-39.
- DASARI, M.A., P.P. KIATSIMKUL, W.R. SUTTERLIN, Y. G.J. SUPPES. 2005. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. *Applied Catalysis A: General* 281:225-231.
- DELEPLANQUE J., DUBOIS J.L., DEVAUX J.F., UEDA W. 2010. Production of acrolein and acrylic acid through dehydration and oxydehydration of glycerol with mixed oxide catalysts. *Catalysis Today* 157:351-358.
- DEMIRBAS, M.F., AND M. BALAT. 2006. Recent advances on the production and utilization trends of bio-fuels: a global perspective. *Energy Conversion and Management* 47:2371-2381.
- FERREIRA, L., E. DUARTE, C. SILVA, AND M. MALFEITO. 2007. Fruit wastes bioconversion for anaerobic co-digestion with pig manure. Process development for the recycling in decentralised farm scale plants. p. 135-140. *In Proceedings of the International Conference Progress in Biogas, Stuttgart, Germany.*

- FOUNTOULAKIS, M.S., DRAKOPOULOU, S., TERZAKIS, S., GEORGAKI, E., MANIOS, T. 2008. Potential for methane production from typical mediterranean agro-industrial by-products. *Biomass Bioenergy* 32:155–161.
- GOTTSCHALK, G. 1986. Bacterial fermentations. In *Bacterial Metabolism*, p.208–282. New York, NY: Springer-Verlag.
- H'AJEK, M., AND F. SKOPAL. 2010. Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. *Bioresource Technology* 101:3242–3245.
- HOLM-NIELSEN, J.B., C.J. LOMBORG, P. OLESKOWICZ-POPIEL, AND K.H. ESBENSEN. 2007. Online near infrared monitoring of glycerol-boosted anaerobic digestion processes: evaluation of process analytical technologies. *Biotechnology and Bioengineering* 99:302–313.
- HUTNAN, M., N. KOLESÁROVÁ, I. BODÍK, V. ŠPALKOVÁ, AND M. LAZOR. 2009. Possibilities of anaerobic treatment of crude glycerol from biodiesel production. *Proceedings of 36th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare*.
- KACPRZAK, A., L. KRZYTEK, AND S. LEDAKOWICZ. 2009. Anaerobic co-digestion of agricultural products and industrial wastes. *Environment Protection Engineering* 35:215–224.
- KIZILKAYA, R., AND B. BAYRAKLI 2005. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. *Applied Soil Ecology* 30:192–202.
- KOCSISOVÁ T., Y J. CVENGOS. 2006. G-phase from methyl ester production-splitting and refining. *Petroleum and Coal* 48:1–5.
- LABECKAS, G., Y S. SLAVINSKAS. 2006. The effect of rapeseed oil methyl eater on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, *Energy Conservation & Management* 47:1954–1967.
- LÓPEZ, J., M. SANTOS, A. PÉREZ, AND A. MARTÍN. 2009. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Bioresource Technology* 100:5609–5615.
- LUO N., X. FU, F. CAO, T. XIAO, AND P.P. EDWARDS. 2008. Glycerol aqueous phase reforming for hydrogen generation over Pt catalyst—effect of catalyst composition and reaction conditions. *Fuel* 87:3483–3489.
- MA, J., M. VAN WAMBEKE, M. CARBALLA, AND W. VERSTRAETE. 2008. Improvement of the anaerobic treatment of potato processing wastewater in a UASB reactor by co-digestion with glycerol. *Biotechnology Letters* 30:861–867.
- MACKAY, N., AND C. ROWLANDS. 2008. Anaerobic digestion of biodiesel waste streams for solid energy NZ Ltd. ENNR429 Final Year Research Report. University of Canterbury, Department of Civil and Natural Resources Engineering, Christchurch, New Zealand. Available at http://www.civil.canterbury.ac.nz/cochrane/NRE/Projects/Group8_2008.pdf (accessed 19.04.2010).
- PACHAURI, N., AND B. HE. 2006. Value added utilization of crude glycerol from biodiesel production: a survey of current research activities. In *Proceedings of the ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon. 9-12 July. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, Missouri, USA*.
- PYLE, D. 2008. Use of biodiesel-derived crude glycerol for the production of omega-3 polyunsaturated fatty acids by the microalga *Schizochytrium limacinum*. Master on Sciences Thesis in Biological Systems Engineering, State University, Virginia, United States.

-
- RAHEMAN, H., Y S.V. GHADGE. 2007. Performance of compression ignition engine with mahua (*Madhuca indica*) biodiesel. Fuel 86:2568–2573.
- RAHMAT, N., A.Z. ABDULLAH A.Z., AND MOHAMED A.R. 2010. Recent progress on innovative and potential technologies for glycerol transformation into fuel additives: a critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14:987-1000.
- RAVEN, R.P.J.M., AND K.H. GREGERSEN. 2007. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11:116-132.
- SADANO Y., TOSHIMITSU R., KOHDA J., NAKANO Y., YANO T. 2010. Optimization of compost fermentation of glycerol by-product discharged from biodiesel fuel production process. Journal of Material Cycles and Waste Management 12:308-313.
- SAYDUT A., D.M. ZAHIR, C. KAYA, B.A. KAFADAR, Y C. HAMAMCI. 2008. Transesterified sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil as a biodiesel fuel, Bioresource Technology 99:6656–6660.
- SILES, J.A., M.A. MARTÍN, A.F. CHICA, AND A. MARTÍN. 2010. Anaerobic co-digestion of glycerol and wastewater derived from biodiesel manufacturing. Bioresource Technology 101:6315–6321.
- SLINN, M., K. KENDALL, C. MALLON, AND J. ANDREWS. 2008. Steam reforming of biodiesel by-product to make renewable hydrogen. Bioresource Technology 99:5851-5858.
- SOLDANO, M., C. FABBRI, AND S. PICCININI. 2007. Co-digestion plant in dairy cattle farm in Emilia Romagna region (Italy). p. 95-99. In Proceedings of the International Conference Progress in Biogas, Stuttgart, Germany. 19-21 September. International Biogas and Bioenergy Centre of Competence (IBBK), Kirchberg/Jagst, Germany.
- SOLOMOS, B., A.P. ZENG, H. BIEBL, H. SCHLIEKER, C. POSTEN, AND W.D. DECKWER. 1995. Comparison of the energetic efficiencies of hydrogen and oxochemicals formation in *Klebsiella pneumoniae* and *Clostridium butyricum* during anaerobic growth on glycerol. Journal of Biotechnology 39:107-117.
- SULAIMAN, A., M.R. ZAKARIA, M.A. HASSAN, Y. SHIRAI AND Z. BUSU. 2009. Co-Digestion of Palm Oil Mill Effluent and Refined Glycerin Wash Water for Chemical Oxygen Demand Removal and Methane Production. American Journal of Environmental Sciences 5:639-646.
- SUPPES, G.J. 2006. Biobased propylene glycol and monomers from natural glycerin. EPA. Disponible en: <http://epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/winners/aa06.html> (acceso 23.03.2011).
- THOMPSON, J.C., Y B.B. HE. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. Applied Engineering in Agriculture 22:261-265.
- VALLIYAPPAN, T., T.T. BAKHSI, AND A.K. DALAI. 2008. Pyrolysis of glycerol for the production of hydrogen or syn gas. Bioresource Technology 99:4476-4483.
- WEILAND, P. 2000. Anaerobic waste digestion in Germany – status and recent developments. Biodegradation 11:415-421.
- YANG, Y., K. TSUKAHARA, AND S. SAWAYAMA. 2008. Biodegradation and methane production from glycerol-containing synthetic wastes with fixed-bed bioreactor under

mesophilic and thermophilic anaerobic conditions. Process Biochemistry 43:362-367.

Tabla 1. Comparación de la producción de metano a partir de diferentes residuos orgánicos.

Table 1. Comparison of methane production from different organic waste

Tipo de residuo orgánico	Composición del residuo	Contenido orgánico %	Producción de metano $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$
Estiércol de ganado	Celulosa, carbohidratos, lípidos, proteínas	-	10-20
Glycerol	Azúcar, alcohol	-	470
Lodos de flotación (deshidratados)	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	40-60
Lodos de aceite de pescado	30-50% lípidos y otros compuestos orgánicos	80-85	450-600
Residuos orgánicos domésticos	Carbohidratos, lípidos, proteínas	20-30	150-240
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Aceite de soja	90% aceite vegetal	90	800-1000
Lodos residuales	Carbohidratos, lípidos, proteínas	3-4	17-22

Fuente: Angelidaki et al., 2003.

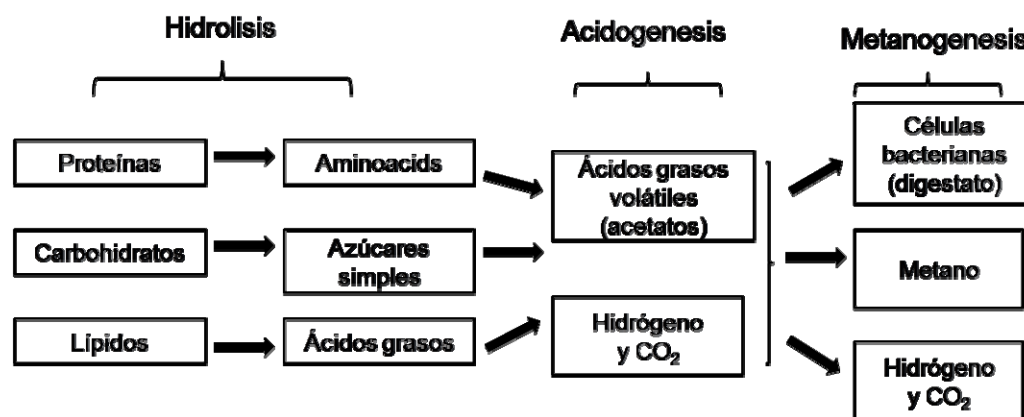


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de digestión anaeróbica.

Figure 1. Flow diagram of the anaerobic digestion process

FRUTILLAS vd. PAJARO MINIMAMENTE PROCESADAS

Strawberries vd. Pajaro minimally processed

Ljubica Galletti G, Horst Berger S., Carlos Lecaros V. y L. Antonio Lizana M.*

Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC). Fac. Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile

*E-mail: lgallett@uchile.cl

RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo evaluar la acción del recubrimiento de quitosano y de dos tipos de envases con diferente permeabilidad selectiva a gases, para establecer el tiempo de vida útil de frutillas variedad Pájaro mínimamente procesadas enteras y cortadas en trozos.

Los parámetros evaluados fueron: color, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable, tasa respiratoria, concentración de CO₂ y O₂. También se evaluaron parámetros sensoriales como; aceptabilidad, apariencia, aroma, dulzor, amargor, acidez, textura, jugosidad. Adicionalmente se efectuaron análisis microbiológicos.

Los análisis realizados evidenciaron efectos positivos del recubrimiento comestible sobre la vida postcosecha respecto de los parámetros físico químicos, sensoriales y microbiológicos. En relación al color, conservó la intensidad (a*).

La firmeza registró valores superiores en los tratamientos con quitosano. Adicionalmente redujo la tasa respiratoria. Respecto a los parámetros sensoriales, dichos tratamientos conservaron mejor la apariencia, aceptabilidad, aroma, textura y jugosidad a través del tiempo. Los tratamientos con quitosano presentaron menor contaminación microbiológica durante el estudio.

Para el factor corte, no se observó efecto, mientras que el factor envase tuvo una participación positiva en la frutilla debido a la atmósfera generada.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the action of chitosan coating and two kinds of packages with different selective gas permeability, in order to establish shelf life period of minimally processed strawberries, variety Pájaro.

The evaluated parameters were: color, firmness, soluble solids, titratable acidity, respiratory rate, concentration of CO₂ and O₂. Sensory parameters were also assessed; like acceptability, appearance, aroma, sweetness, bitterness, acidity, texture, juiciness. Additionally microbiological analyzes were performed.

Analyzes showed a positive effect of edible coating on the postharvest life for the physico-chemical, sensory and microbiological parameters. In relation to color, color intensity (a*) was retained. The strawberry firmness recorded higher values in treatments with chitosan. Respiratory rate was also reduced. Regarding sensory parameters, such treatments preserved better appearance, acceptability, aroma, texture and juiciness over time.

Chitosan treatments had lower microbial contamination during the study.

For cutting factor no effect was observed, while the packaging was a positive factor in the preservation of strawberry due the generated atmosphere.

INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas y hortalizas en general, tanto en Chile como en todos los países en desarrollo se ha incrementado en los últimos años gracias a los resultados de estudios científicos que han difundido las bondades de su consumo. Específicamente los Productos Mínimamente Procesados (PMP) forman parte de este consumo (Berger, 2004).

El principal factor que promueve el desarrollo y el crecimiento de este tipo de mercados, es la necesidad continua del consumidor de adquirir productos que ofrezcan la conveniencia de platillos listos para consumir (González *et al.*, 2004). La aplicación de esta tecnología requiere de un estudio específico para cada vegetal y exige conocer las características de calidad de la materia prima para lograr una aplicación exitosa de dicha tecnología (Reyes *et al.*, 2007).

La frutilla es requerida mundialmente por su alto contenido de antioxidantes, que retarda el envejecimiento, sus propiedades anticancerígenas, la prevención de infecciones urinarias y la disminución del contenido de azúcar en la sangre (ProChile, 2004).

Según Williner *et al.* (2003) la frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) es una fruta delicada, con aroma característico, excelente fuente de ácido ascórbico, potasio, fibras, como así también de azúcares simples. En los últimos años, se ha determinado que contienen importantes fitoquímicos como el ácido elágico.

La variedad Pájaro, presenta frutillas de forma cónica, de pulpa consistente y color rojo uniforme y brillante. Esta es, posiblemente, la variedad con mejor sabor de todas las comercializadas (Consumer, 2009).

Las coberturas comestibles están siendo consideradas como una estrategia para reducir

los efectos perjudiciales que infringe el procesamiento mínimo a los tejidos vegetales de frutas frescas cortadas (Rojas 2006).

Según El Ghaouth *et al.* (1991), el recubrimiento de quitosano tiene un potencial para prolongar la vida de almacenaje y el control del deterioro de frutillas, aún en temperaturas de almacenaje más altas. Además el quitosano tiene la capacidad de modificar la atmósfera interna del tejido y la propiedad de ser fungistático puede proporcionar un factor de seguridad, cuando el control riguroso de almacenaje y temperaturas de distribución no puede ser asegurado.

Según Tapia (1998), deben utilizarse envases de permeabilidad selectiva al oxígeno y dióxido de carbono, que permitan disminuir la respiración y mantener condiciones desfavorables para la acción de muchos patógenos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un recubrimiento comestible, quitosano, y de los envases para evaluar los parámetros sensoriales de frutilla vr. Pájaro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las frutillas se recolectaron en la localidad de Leyda, V Región, Chile. El índice de cosecha utilizado fue el color de cubrimiento. En el Centro de Estudio Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, se caracterizó la materia prima.

El color (L^* , a^* y b^*) fue medido tanto en la epidermis como en la pulpa con colorímetro Minolta; la firmeza (kg-f) con penetrómetro manual EFFEGGI 4,98 Kg para frutos completos, y penetrómetro de mesa U.C. FIRMNESS TESTER para frutos cortados; mediante una prensa se obtuvo jugo para medir sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), con refractómetro Atago, y acidez titulable (% ácido cítrico), mediante un potenciómetro Cole-Parmer titulando con NaOH 0.1 N hasta alcanzar un pH entre 8,2- 8,3. El peso (g) se determinó con balanza Precisa. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Parámetros de madurez de la materia prima (valores promedio de 20 frutos)

Peso (g)	L* externo	a* externo	b* externo	L* pulpa	a* pulpa	b* pulpa	Firmeza externa (kg-f)	Firmeza interna (kg-f)	Sólidos solubles °Brix	Acidez Titulable % ac. cítrico
23,9	34,69	32,99	16,64	51,15	31,31	23,76	2,57	2,46	11,41	1,08

Adicionalmente en el Departamento de Agroindustria y Enología de la misma Facultad se realizó evaluación sensorial, con panel entrenado de 12 personas con pauta no estructurada de 0 a 15 cm, analizando calidad sensorial (apariencia y textura) e intensidad (aroma, dulzor, acidez, amargor, jugosidad y un recuento microbiológico, para conocer el estado inicial de la fruta.

Para la degustación se utilizaron frutillas trozadas en mitades, donde se empleó una mitad por tratamiento, es decir, 8 mitades por cada panelista, que fueron distribuidas en dos bandejas con cuatro muestras cada una, con un número de identificación respectivo para cada muestra. Los resultados fueron interpretados de acuerdo a Araya (2006), Anexo 1.

Análisis microbiológicos: Se realizó recuento de Microorganismos aerobios mesófilos viables (RAM), Enterobacteriaceas, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* según lo dispuesto por el Ministerio de Salud (2008) en el Reglamento Sanitario de los Alimentos para productos mínimamente procesados.

La tasa respiratoria se evaluó al inicio empleando frutillas en cámara refrigerada a 4°C y

85-90% HR. Para ello se utilizaron recipientes de vidrio con una capacidad de 500 mL, ocupando los frutos un volumen de 250 mL. Estos recipientes fueron tapados por un periodo fijo de una hora, luego de la cual se extrajo con una jeringa una muestra de 10 mL de la atmósfera interna generada en los recipientes. Se midió el porcentaje de CO₂ de la muestra obtenida, en el cromatógrafo de gases HEWLETT PACKARD 5890 Serie II, con detector TC y con columnas molecular Sieve y Porapak Q. Se calculó la tasa respiratoria con la siguiente fórmula

$$TR = \frac{CO_2 * (VR - VF)}{100}$$

PF*T

Donde:

TR = Tasa Respiratoria, en mL* Kg⁻¹* h⁻¹

CO₂ = Dióxido de Carbono, en %

VR = Volumen del Recipiente, en mL

VF = Volumen del Fruto, en mL

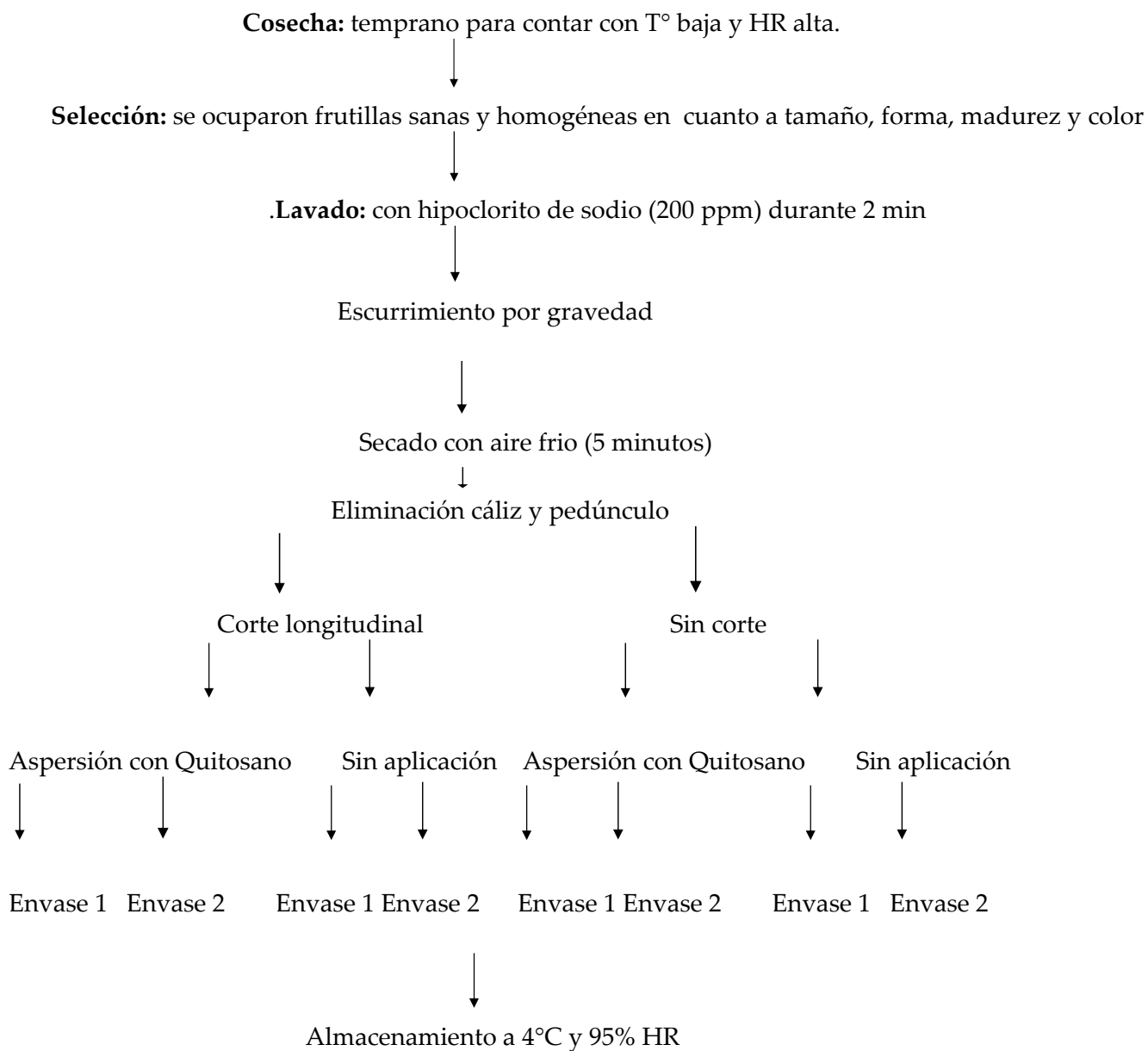
PF = Peso del Fruto, en Kg

T = Tiempo, en h

Procesamiento

Se procesaron las frutillas en las cámaras de frío del CEPOC a 5 °C y 85% HR. Según se muestra en la Figura 1.

Figura. 1. LINEA DE PROCESO DE FRUTILLAS



Como queda estipulado en la Línea de Proceso (Figura 1) los tratamientos consideraron frutos completos y cortados, con y sin recubrimiento y

dos envases de permeabilidad diferenciada, constituyendo 8 tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos.

Table 2. Treatments

Nº	CORTE	RECUBRIMIENTO	ENVASE
1	Sin corte	Sin quitosano	Envase + película BB4
2	Sin corte	Sin quitosano	Envase + Bolsa EVA
3	Sin corte	Con quitosano	Envase + película BB4
4	Sin corte	Con quitosano	Envase + Bolsa EVA
5	Con corte	Sin quitosano	Envase + película BB4
6	Con corte	Sin quitosano	Envase + Bolsa EVA
7	Con corte	Con quitosano	Envase + película BB4
8	Con corte	Con quitosano	Envase + Bolsa EVA

El recubrimiento comestible utilizado fue quitosano 0,5% p/p

Los envases utilizados eran de polietileno rígidos de 250 ml, el envase 1 se cerró con una lamina plástica BB4 Cryovac entre la boquilla del envase y la tapa, y el envase 2 se recubrió todo con una bolsa EVA.

La película (BB4) tiene una permeabilidad al O₂ de 3-6 mL*m⁻²*24h⁻¹ y al CO₂ de 50-150 mL*m⁻²*24h⁻¹ mientras que la bolsa (EVA) cuenta con una permeabilidad al O₂ de 4.000 mL*m⁻²*24h⁻¹ (1atm, 22,7°C) y al CO₂ de 9.800 mL m⁻²*24h⁻¹.

Luego de 3, 7 y 10 días de almacenamiento refrigerado a 4°C. y 85-9% HR se efectuaron evaluaciones de parámetros de madurez y sensoriales, microbiológicos y medición de la composición interna de los envases con cromatógrafo HEWLETT PACKARD 5890 Serie II, los resultados se expresaron en % de CO₂ y % O₂.

Diseño y análisis estadísticos

El diseño experimental fue completamente al azar con estructura factorial de 2 x 2 x 2, correspondiendo a corte, recubrimiento y envase. Los resultados se sometieron a ANDEVA y pruebas de comparaciones múltiples SNK.

La unidad experimental fue el envase con 85g de *Simiente 80(1-2):59-78*

fruta. Se utilizaron seis repeticiones por tratamiento, dos para evaluación sensorial, una para análisis microbiológico y tres para parámetros de madurez.

Obtenidos los resultados de los distintos tratamientos, se efectuó un análisis de varianza (ANDEVA), con el propósito de establecer, si existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con respecto a los parámetros evaluados. En los casos en que se obtuvo diferencias significativas se realizó la prueba de comparaciones múltiples (SNK). La unidad experimental fue el envase con 80 a 90g de fruta en su interior. Todo el análisis se realizó con un nivel de confianza del 95% (p≤0,05).

En el caso de la evaluación sensorial esta se realizó en bloques, y las repeticiones fueron 12, es decir, los doce panelistas entrenados.

RESULTADOS

Tasa respiratoria

Como se ilustra en la Figura 2, la tasa respiratoria más alta se presentó en los frutos sin cáliz, con corte y sin recubrimiento (barra azul). Mientras que las menores tasas las presentaron los frutos completos (barra verde) y los frutos sin cáliz, sin corte y con recubrimiento (barra rosada).

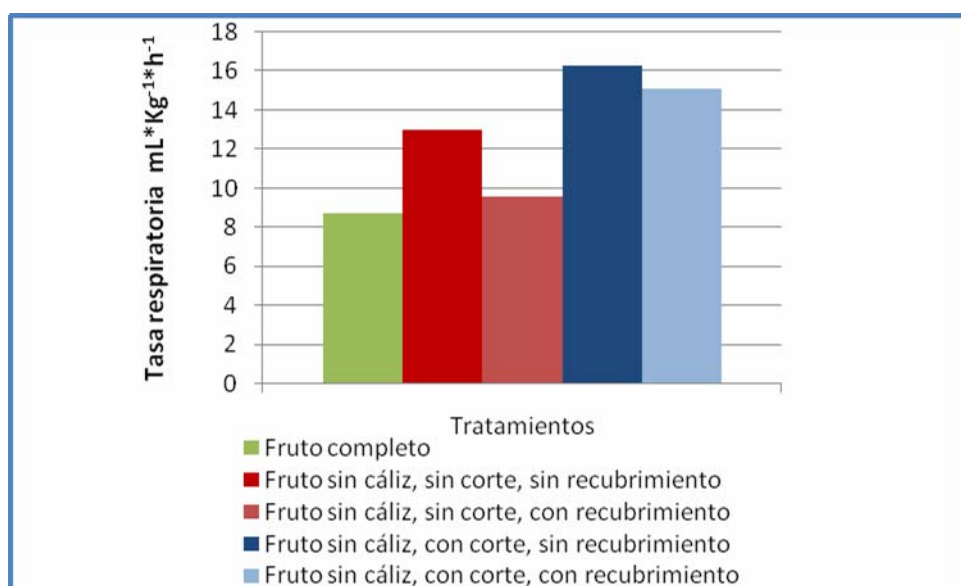


Figura 2. Tasa respiratoria de frutillas vd. Pajaro bajo distintas condiciones de corte y recubrimiento.
Figure 2. Respiratory Rate Pajaro strawberries under different cutting and coating Conditions.

Según Ryall *et al.* (1981) la frutilla presenta valores de tasa respiratoria a 5°C de 16-33 mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹ lo mismo que presentan las frutillas sin tratamiento de este trabajo (8 mL CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹ valor equivalente).

Las frutillas cortadas presentaron tasas respiratorias mas altas que las enteras, estos resultados se asemejan a los del trabajo de Rosen y Kader (1989), en el que fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) y peras (*Pyrus communis* L.) cortadas, presentaron tasas de respiración, más altas que las frutas enteras, durante los siete días

de almacenamiento a 2,5 °C y posteriormente a 20 °C por un día.

Composición gaseosa del interior de los envases de las frutillas var. Pájaro: El CO₂ aumentó durante el transcurso del estudio, para todos los tratamientos. Se encontraron diferencias significativas para el día 3 y 7, respecto al factor envase. Donde los tratamientos con el envase 2 presentaron mayor concentración de CO₂ (barras más oscuras, Figura 3). No se detectaron diferencias para el día 10.

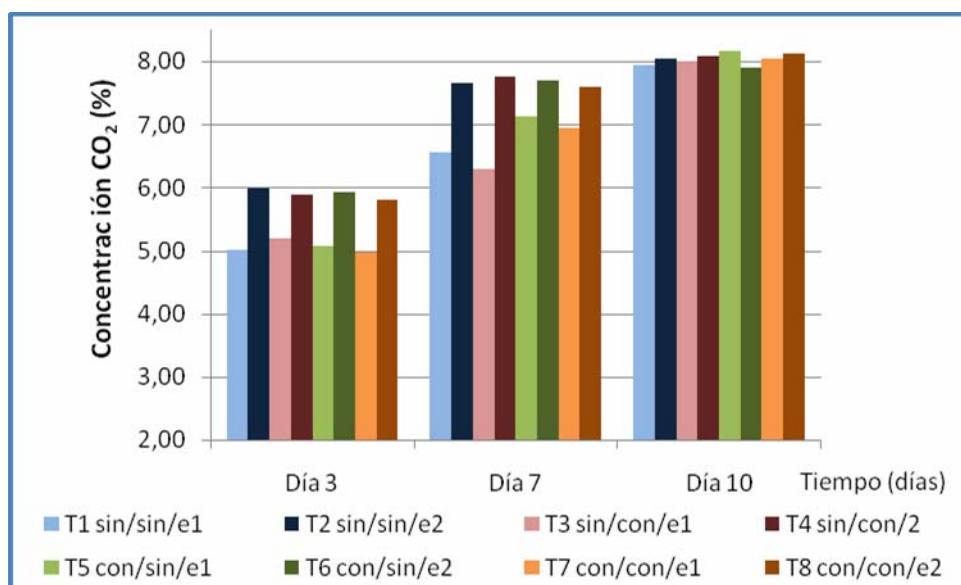


Figura 3. Concentración de CO₂ (%) durante la conservación de frutilla var. Pájaro.

Figure 3. CO₂ concentration (%) during storage of strawberry var . Pajaro.

En la Figura 4, se observa que las concentraciones de O₂ disminuyen durante el transcurso de los días, en todos los tratamientos. Hubo diferencias significativas igual que para

CO₂ para el día 3 y 7, respecto al factor envase.

Para el día 10 no se detectaron diferencias entre los envases.

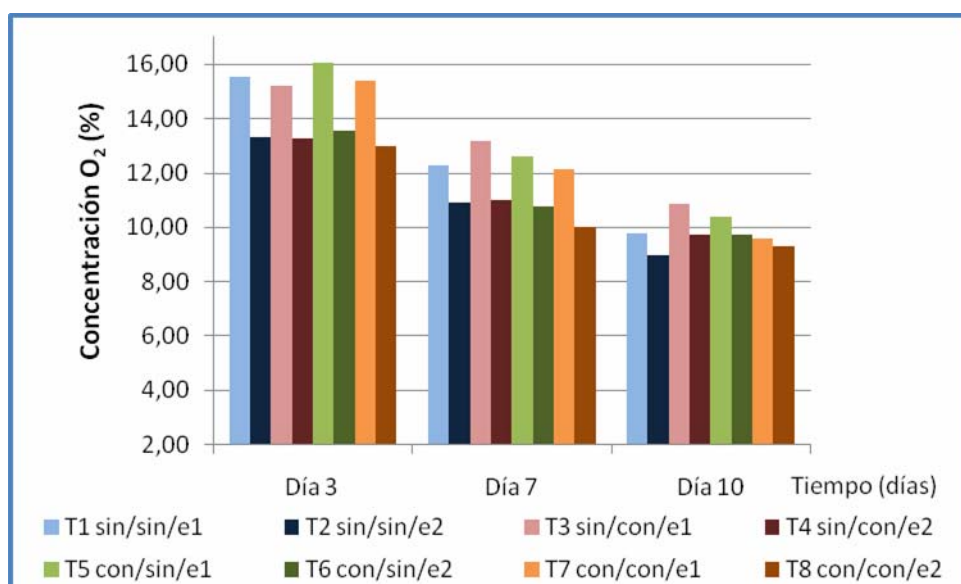


Figura 4. Concentración de O₂ (%) durante la conservación de frutilla var. Pájaro.

Figure 4. O₂ concentration (%) during storage of strawberry var . Pájaro

Parámetros de calidad sensorial

Evaluación Inicial: Para el día 0, no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 3) entre los frutos con y sin recubrimiento, respecto a los parámetros sensoriales. Los parámetros

dulzor, acidez y jugosidad, presentaron valores de “Alto”, en cuanto a la apariencia y textura fluctuaron entre “Muy buena”, y la aceptabilidad bordeó entre “Muy buena a Excelente”.

Cuadro 3. Evaluación sensorial de frutilla var. Pájaro, para el día 0 caracterización de los frutos (valores promedio).

Table 3. Sensory Evaluation of strawberry var. Pájaro, for the day 0 characterization of fruits (average values).

Día	Recubrimiento	Apariencia	Aroma	Dulzor	Acidez	Textura	Jugosidad
0	Sin	12,72a	11,56a	11,23a	9,92a	11,93a	11,06 ^a
	Con	12,61a	12,21a	10,83a	10,23a	11,98a	10,68 ^a

⁽¹⁾Letras distintas en cada columna, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, para cada parámetro, según la prueba de comparaciones múltiples SNK.

Distinto fue el caso de frutillas tratadas con quitosano en combinación con sales de calcio en el trabajo de Hernández-Muñoz *et al.* (2008) en el que las con quitosano presentaron mejor aceptabilidad

rojizas) presentaron valores promedio superiores a los tratamientos sin recubrimiento, respecto a los parámetros sensoriales aceptabilidad, apariencia y textura. La aceptabilidad y apariencia de los tratamientos con recubrimiento, presentaron valores de “Muy buena” y la textura de “Buena a Muy buena”.

Día 3 de evaluación: Como se muestra en la Figura 5, los tratamientos con quitosano (líneas

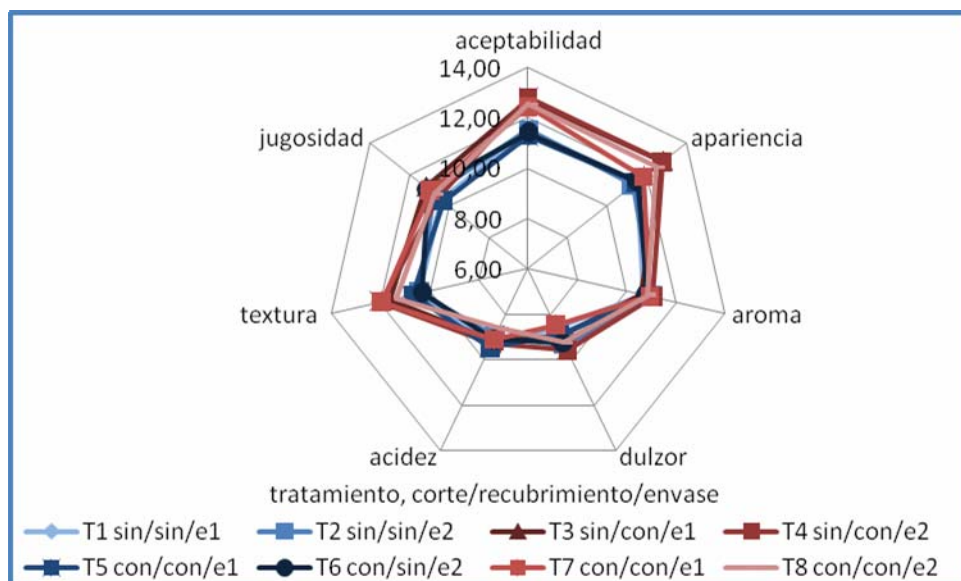


Figura 5. Evaluación sensorial realizada el día 3 de estudio, para los distintos tratamientos

Figure 5. Sensory evaluation on day 3 of the study, for different treatments

En relación a los parámetros aroma, dulzor, acidez y jugosidad, no se encontraron diferencias estadísticas significativas para el día 3 de evaluación, presentando valores que van entre “Alto”, “Levemente alto”, “Levemente alto” y “Alto” respectivamente.

Se observó que dentro de los tratamientos con recubrimiento, los mayores valores de apariencia se presentaron en aquellos sin corte. Es decir, que los tratamientos con recubrimiento y sin corte son los que presentaron los mayores valores promedio, con respecto a la apariencia para el día 3 de evaluación.

Cuadro 4. Evaluación sensorial de frutilla var. Pájaro, a los tres días de conservación

Table 4. Sensory Evaluation of strawberry var . Pajaro, after three days of storage

Día	Tratamiento	Aceptabilidad	Apariencia	Aroma	Dulzor	Acidez	Textura	Jugosidad
3	1	11,47a ⁽¹⁾	11,50a	10,71a	8,60a	9,28a	10,45 ^a	10,41a
	2	11,51a	11,33a	11,04a	9,33a	9,00a	10,42 ^a	10,81a
	3	12,69b	12,84c	10,60a	8,98a	9,18a	11,63c	11,22a
	4	12,78b	12,80c	11,08a	9,61a	9,31a	12,02c	10,57a
	5	11,27a	11,50a	10,95a	8,90a	9,48a	10,72ab	10,33a
	6	11,39a	11,56a	10,83a	9,26a	9,16a	10,33 ^a	11,09a
	7	12,43b	11,86ab	10,96a	8,48a	9,14a	11,98c	10,98a
	8	12,53b	12,49bc	10,83a	9,26a	8,64a	11,41bc	10,77a

⁽¹⁾Letras distintas en cada columna, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, para cada parámetro, según la prueba de comparaciones múltiples SNK.

Día 7 de evaluación: La aceptabilidad, apariencia y textura, presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 5,) respecto al factor recubrimiento. Los tratamientos con quitosano (líneas rojizas, Figura 4,) presentaron

valores promedio mayores, que los tratamientos sin recubrimiento, respecto a los tres parámetros sensoriales recién mencionados. Similar a lo acontecido para el día 3 de estudio.

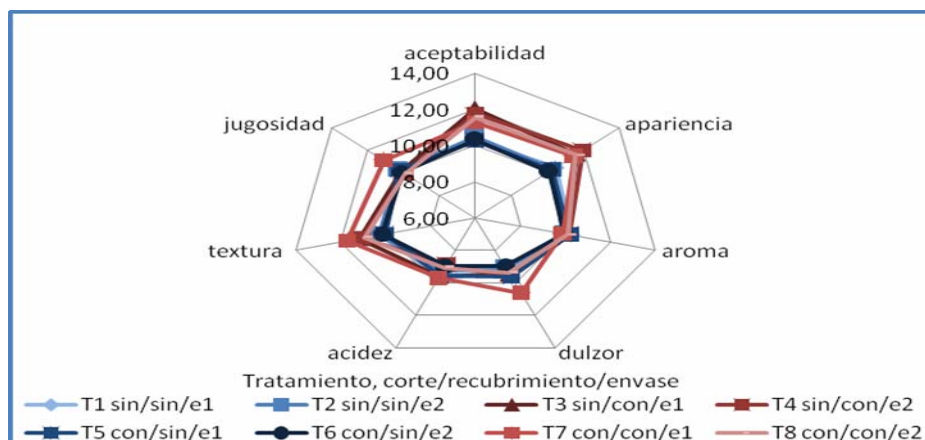


Figura 6. Evaluación sensorial realizada el día 7 de estudio, para los distintos tratamientos.

Figure 6. Sensory Evaluation study on 7 , for different treatments.

Para los tratamientos con quitosano tanto la aceptabilidad, apariencia y textura, arrojaron valores entre “Buena a Muy buena”, mientras que los tratamientos sin recubrimiento reflejaron valores de “Buena”.

Los parámetros aroma, dulzor, acidez y jugosidad no presentaron diferencias significativas (Cuadro5), y se observaron valores entre “Alto”, “Levemente alto a Alto”, “Levemente alto” y “Alto”.

Cuadro 5. Evaluación sensorial de frutilla var. Pájaro, a los siete días de conservación

Table 5. Sensory Evaluation of strawberry var . Pajaro, after seven days of storage

Día	Tratamiento	Aceptabilidad	Apariencia	Aroma	Dulzor	Acidez	Textura	Jugosidad
7	1	10,28a ⁽³⁾	10,47a	10,29a	9,28a	9,54a	10,28a	10,28a
	2	10,47a	10,32a	9,93a	9,08a	9,27a	10,27a	10,26a
	3	12,04b	11,62b	10,01a	9,45a	9,59a	11,14ab	10,11a
	4	11,75b	11,97b	10,17a	9,60a	8,88a	11,05ab	9,90a
	5	10,27a	10,26a	10,21a	9,63a	9,55a	10,03a	10,23a
	6	10,33a	10,09a	9,96a	8,99a	8,99a	10,16a	10,04a
	7	11,27ab	11,47b	9,90a	10,61a	9,69a	11,71b	11,10a
	8	11,55b	11,60b	10,12a	9,38a	9,08a	10,95ab	9,93a

⁽³⁾Letras distintas en cada columna, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, para cada parámetro, según la prueba de comparaciones múltiples SNK.

Día 10 de evaluación

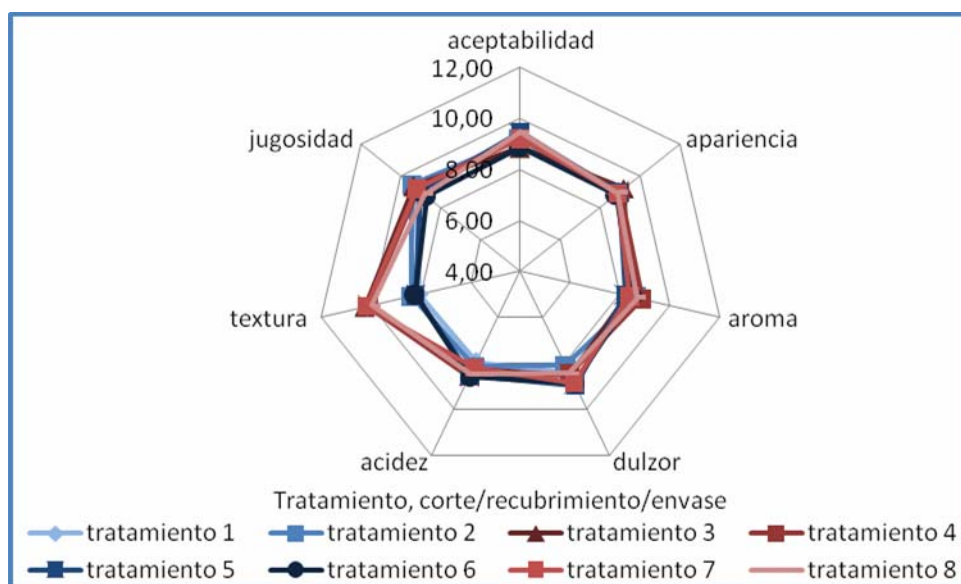


Figura 7. Resultados de la evaluación sensorial realizada el día 10 de estudio, para los distintos tratamientos.

En la Figura 7, se observa que solo el parámetro textura presento diferencias estadísticas significativas (Cuadro 6) en cuanto al factor recubrimiento, para esta fecha de evaluación, a diferencia de las dos evaluaciones anteriores. En

En relación a la aceptabilidad y apariencia, ambos parámetros presentaron valores que van entre “Más que regular”. En cuanto al aroma,

donde los tratamientos con quitosano presentaron mayores valores promedio que califican como “Buena”, en cambio los tratamientos sin recubrimiento reflejaron valores que fluctuaron entre “Mas que regular”

dulzor y jugosidad, sus resultados fluctuaron entre “Levemente alto”, en cambio la acidez fue de “Moderado a Levemente alto”

Cuadro 6. Evaluación sensorial de frutilla var. Pájaro, a los diez días de conservación

Table 6. Sensory Evaluation of strawberry var . Pajaro, after ten days of storage

Día	Tratamiento	Aceptabilidad	Apariencia	Aroma	Dulzor	Acidez	Textura	Jugosidad
10	1	9,29a ⁽⁴⁾	8,81a	8,53a	8,43a	7,97a	8,08a	9,26a
	2	9,13a	8,96a	8,67a	8,10a	8,14a	8,35a	9,45a
	3	8,83a	9,18a	8,27a	8,55a	8,27a	10,25b	9,33a
	4	9,38a	8,98a	8,87a	8,45a	8,59a	10,10b	9,13a
	5	9,45a	8,93a	8,22a	8,96a	8,53a	8,22a	9,02a
	6	8,85a	8,79a	8,50a	8,87a	8,59a	8,23a	8,71a
	7	9,18a	8,88a	8,39a	8,86a	8,18a	10,17b	9,19a
	8	9,44a	8,90a	8,68a	8,43a	8,48a	9,98b	8,84a

⁽⁴⁾Letras distintas en cada columna, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, para cada parámetro, según la prueba de comparaciones múltiples SNK.

Pérdida de peso: Para el tercer día del estudio, se observan diferencias significativas para el factor recubrimiento en cuanto a la pérdida de peso. Se evidencia que los tratamientos con recubrimiento (tratamientos de tonos rojizos) muestran menores porcentajes de pérdida de peso en promedio. Lo cual implica una menor deshidratación por parte de los frutos con

recubrimiento, para dicho día de evaluación. En cuanto al factor corte y envase no hubo diferencias significativas. Se evidencio que los tratamientos con corte y sin recubrimiento comestible (T5 y T6) reflejaron mayores porcentajes en promedio de pérdida de peso, siendo T6 el tratamiento que presento el mayor porcentaje (Figura 8).

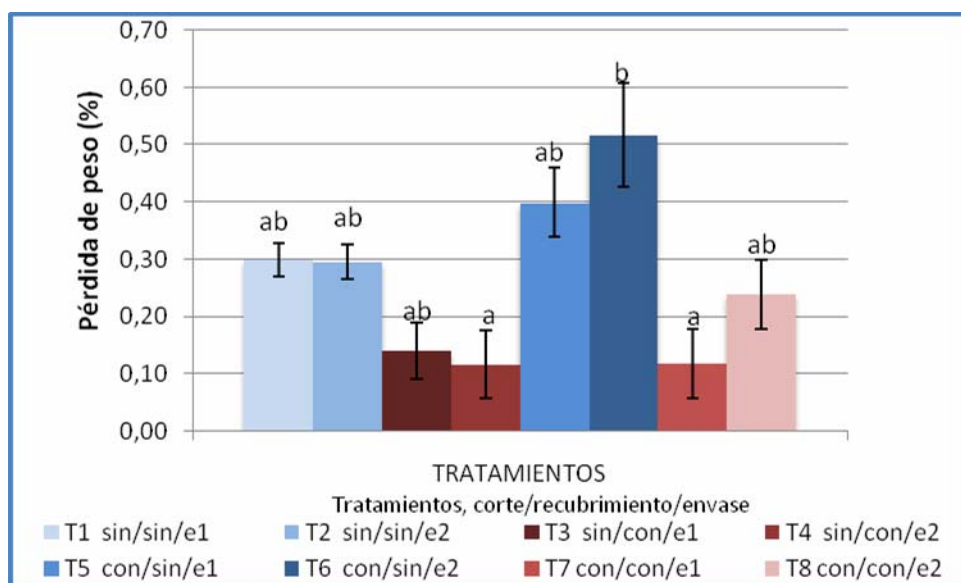


Figura 8. Pérdida de peso de frutillas var. Pájaro, para día 3 de evaluación (%).

Figure 8. Weight Loss strawberries var Pajaro, for 3rd assessment (%)

Para el día 7 al igual que lo acontecido el día 3 de evaluación, hubo diferencias significativas para el factor recubrimiento, los tratamientos con recubrimiento (barras de tonos rojizos) mostraron menores promedios de pérdida de peso, lo cual reflejó una menor deshidratación por parte de estos tratamientos. Estos resultados

concuerdan con los de González-Aguilar *et al.* (2005) en papayas tratadas con quitosano. Con respecto al factor corte y envase no se encontraron diferencias significativas. Los tratamientos con corte y sin recubrimiento (T5 y T6) presentaron mayores promedios de pérdida de peso.

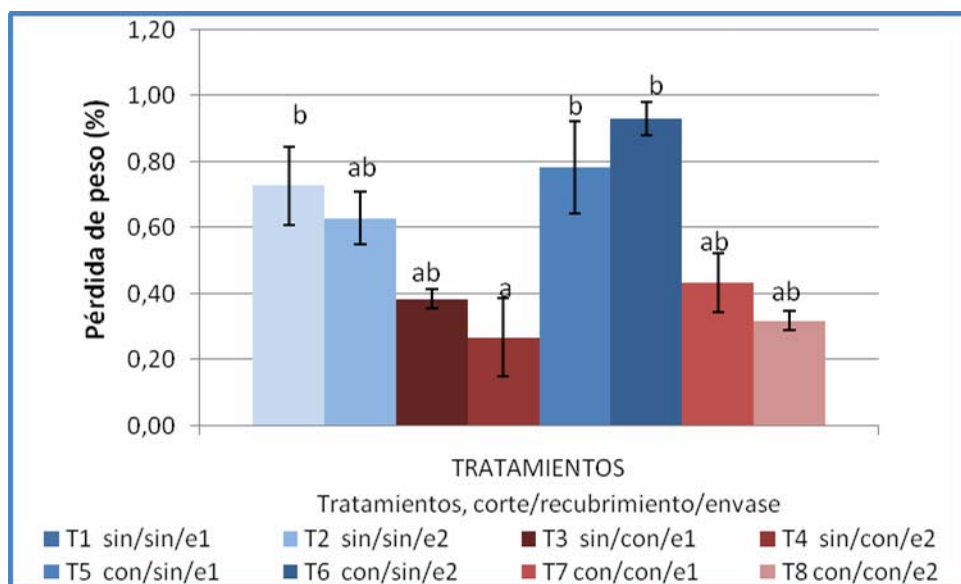


Figura 9. Pérdida de peso de frutillas var. Pájaro, para día 7 de evaluación (%).

Figure 9. Weight loss the strawberries var Pajaro, (%)

Para el día 10 de evaluación no se registraron diferencias significativas, aun cuando los tratamientos con recubrimiento quitosano obtuvieron menores promedios de pérdida de peso.

En relación con los factores corte y envase, no se observaron diferencias.

Se desprende que los tratamientos que presentaron menores pérdidas de peso y deshidratación durante el transcurso del tiempo, fueron los tratamientos con el recubrimiento de quitosano, resultados que concuerdan con González-Aguilar *et al.* (2005) en papayas tratadas con quitosano. También se observa que los tratamientos T6 y T5, son los que presentan los mayores porcentajes de pérdida de peso, lo cual puede atribuirse a la influencia del factor corte, lo cual implica una mayor deshidratación de estos tratamientos.

Para el final del periodo de evaluación, el efecto

de los tratamientos tiende a desaparecer, y los resultados se asemejan.

Parámetros de madurez

Color: Como muestra la Figura 10, el parámetro (L^*) de luminosidad externa del fruto, desciende a medida que transcurren los días de estudio, con respecto al valor promedio mostrado el día de caracterización de la fruta (barra parda achurada). Sólo para el día 3 de evaluación se presentan diferencias estadísticas significativas para el factor recubrimiento, en donde los tratamientos con quitosano (barras de tonos rojizos) presentan valores promedio menores de luminosidad, con respecto a los tratamientos sin recubrimiento (barras tonos azules). Los tratamientos con quitosano presentaron valores promedio del parámetro (L^*) inferiores, con respecto a los tratamientos sin recubrimiento a lo largo del estudio indicando una pérdida de brillo. En cuanto a los días 7 y 10, no se presentan diferencias estadísticas significativas para ninguno de los factores.

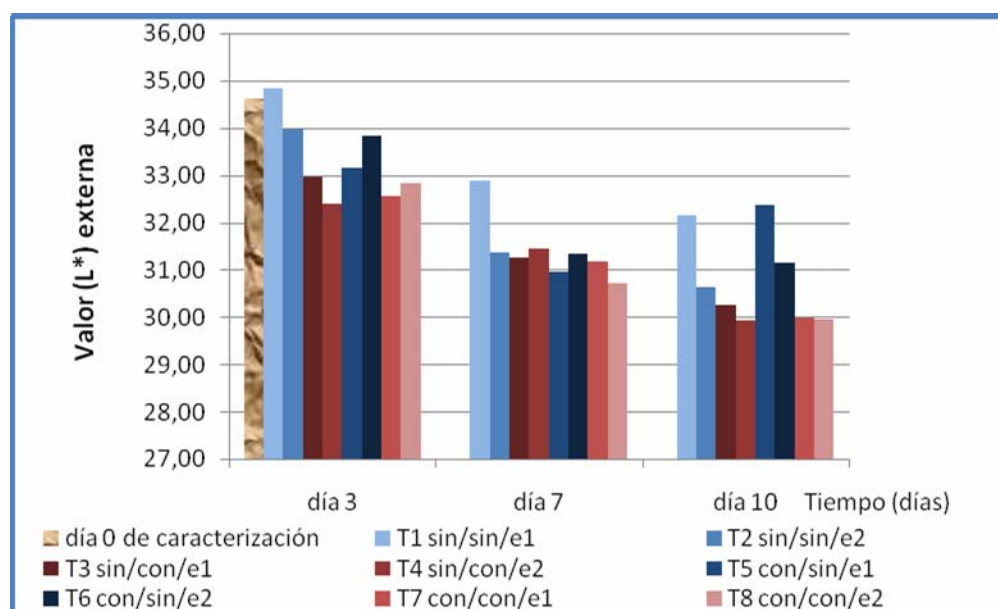


Figura 10. Evolución del parámetro (L^*) externo de los frutos, durante el transcurso del tiempo.

Figure 10. Evolution parameter (L^*), along the time.

Resultados contradictorios a los de González-Aguilar *et al.* (2005) para el valor (L^*) en papayas tratadas con quitosano, donde los tratamientos con este recubrimiento presentaron las menores pérdidas del valor (L^*).

El valor (a^*) se utiliza para ver la intensidad del color rojo. Se observa en la Figura, que los valores de (a^*) descienden a medida que pasan los días, para todos los tratamientos. Se

detectaron diferencias estadísticas significativas para los días 3 y 7, para el factor recubrimiento, los tratamientos con quitosano mantuvieron mejor la intensidad del color rojo durante el transcurso del ensayo, a excepción del día 10 en que no hay diferencias para el factor en cuestión.

Por otra parte, para los factores corte y envase no se registraron diferencias significativas, en ninguna de las fechas de evaluación.

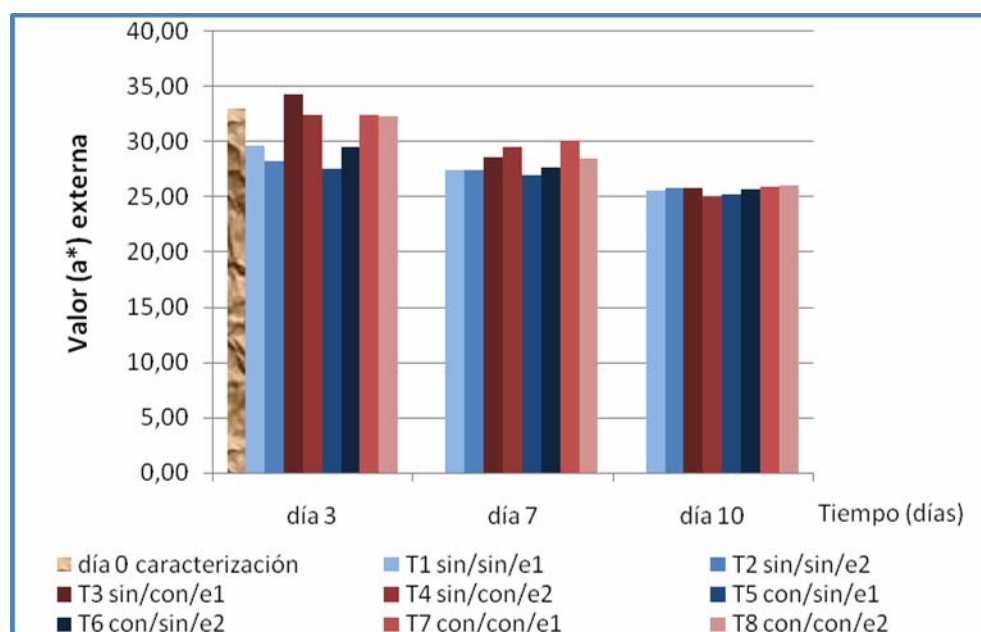


Figura 11. Evolución del valor (a^*) externo del fruto, durante el transcurso del tiempo (días).

Figure 11. Evolution of the value (a^*) of the fruit along the time (days)

El valor (b^*), que indica la intensidad del color amarillo, va disminuyendo a medida que transcurren los días en todos los tratamientos. No se observaron diferencias estadísticas significativas para los distintos factores en ninguno de los días de evaluación, ni se registran interacciones entre dichos factores.

Firmeza del fruto: Para el día 3 de evaluación, los tratamientos con quitosano (barras de tonos rojizos) evidenciaron firmezas más altas en

promedio, que los sin recubrimiento. Resultados similares fueron encontrados por El-Ghaouth *et al.* (1991) en frutillas almacenadas a 4°C. Además los tratamientos con quitosano mantuvieron los promedios de firmeza externa lo más cercano a la firmeza promedio de las frutillas caracterizadas el día 0 ($2,61 \pm 0,07$, barra parda achurada) (Figura 12). En cuanto a los factores corte y envase, no se registran diferencias significativas, ni interacción entre los factores, con respecto a este parámetro.

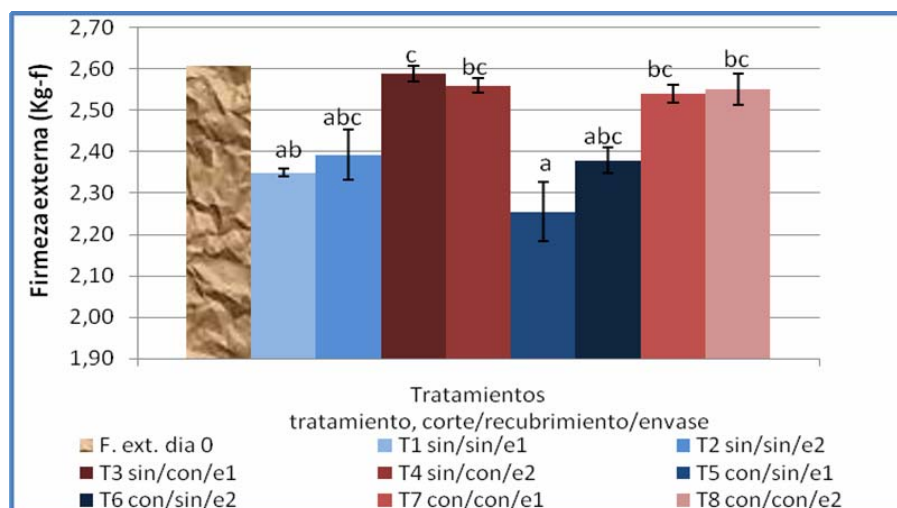


Figura 12. Firmeza externa de frutilla var. Pájaro, en el día 3 de evaluación.
Figure 12. External firmness strawberry var. Pajaro on day 3 of evaluation.

En cuanto al día 7, fue muy similar a lo acontecido para el día 3 de evaluación. Las frutillas con tratamientos con quitosano presentaron promedios de firmeza superiores, a los frutos de los tratamientos sin recubrimiento. A su vez los tratamientos con recubrimiento disminuyeron el ablandamiento de los frutos, con respecto a la firmeza promedio del día 0 en comparación con los tratamientos sin quitosano. Por otra parte para los factores corte y envase no

se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto a este parámetro. En la evaluación del día 10 de evaluación no hubo diferencias significativas estadísticas ni interacción entre los factores, en relación con la firmeza externa del fruto. Los tratamientos no se diferencian entre ellos y bordean en rangos de promedios de firmeza de $(1,93 \pm 0,04$ a $1,99 \pm 0,02)$, y se alejan bastante del promedio de firmeza obtenido el día 0 de caracterización de los frutos.

Análisis microbiológicos

Cuadro 7. Resultados de los análisis microbiológicos efectuados a los distintos tratamientos, durante las distintas fechas de evaluación, para la frutilla var. Pájaro.

Cuadro 7. Results of microbiological analyzes of the different treatments for different dates for strawberry var. Bird.

Evaluación	Tratamiento	RAM (UFC/g)	Enterobacterias (UFC/g)	<i>S.aureus</i> (UFC/g)	<i>Salmonella</i> <i>sp.</i>
Inicial caracterización	Sin recubrimiento	2×10^2	7×10^4	2×10^4	Ausencia
	Con recubrimiento	3×10^1	1×10^1	Ausencia	Ausencia
Día 3	1	3×10^2	1×10^1	Ausencia	Ausencia
	2	2×10^1	Ausencia		
	3	1×10^1	Ausencia		
	4	Ausencia	1×10^1		
	5	2×10^1	Ausencia		
	6	1×10^2	2×10^1		

	7	Ausencia	Ausencia		
	8	4x10 ¹	Ausencia		
Día 7	1	2x10 ¹	4x10 ¹	Ausencia	Ausencia
	2	3x10 ²	2x10 ¹		
	3	4x10 ¹	1x10 ¹		
	4	1x10 ¹	1x10 ¹		
	5	1x10 ¹	2x10 ¹		
	6	1x10 ⁴	Ausencia		
	7	Ausencia	Ausencia		
	8	3x10 ²	Ausencia		
Día 10	1	1x10 ⁴	3x10 ³	1x10 ²	Ausencia
	2	3x10 ⁴	11x10 ²	Ausencia	
	3	5x10 ¹	Ausencia	Ausencia	
	4	7x10 ¹	4x10 ²	Ausencia	
	5	4x10 ⁴	12x10 ²	Ausencia	
	6	7x10 ¹	3x10 ²	3x10 ¹	
	7	1x10 ²	3x10 ¹	Ausencia	
	8	4x10 ⁴	5x10 ²	Ausencia	

En el Cuadro 7 se ilustran los resultados obtenidos para el ensayo 3. En donde se puede observar, que durante el transcurso del ensayo hubo ausencia de *Salmonella sp* en todos los tratamientos.

En cuanto a *S. aureus*, no se encontró su presencia durante los días 3 y 7 de evaluación. Sin embargo, si se presentó para el último día de evaluación, excediendo el límite máximo permitido (10 UFC/g) (Anexo I). Lo mismo aconteció el día de caracterización de las frutillas provenientes de campo.

Respecto al (RAM), que es un parámetro que tiene como objetivo definir la vida útil y contaminación de un producto. Durante todo el transcurso del ensayo, se mantuvo dentro de las exigencias establecidas (5x10⁴ UFC/g) (Anexo II) por el Ministerio de Salud para los productos mínimamente procesados, aunque este parámetro aumento a medida que transcurrió el tiempo.

En cuanto a la familia de las *Enterobacteriaceas*, estas también se presentaron dentro de los rangos permitidos (5x10³ UFC/g). No se encontró

Simiente 80(1-2):59-78

la presencia de la bacteria *Escherichia coli*.

Cabe destacar que los tratamientos con quitosano presentaron en líneas generales valores menores, en cuanto a los recuentos de los microorganismos en cuestión, durante todo el transcurso del ensayo.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del estudio, se puede concluir que la aplicación de quitosano sobre las frutillas ejerce un efecto positivo, ya que disminuye el efecto de deterioro sensorial y microbiológico que provoca el trozado de la frutilla, en relación a la fruta en su estado fresco. En relación al empleo de envases de permeabilidad selectiva no se obtuvo influencia significativa sobre los parámetros evaluados.

La aplicación de quitosano aminoro la deshidratación (pérdida de peso). En relación a los parámetros sensoriales, se destaca la mejor aceptabilidad, apariencia, aroma, textura y jugosidad.

En cuanto a los recuentos microbiológicos, los tratamientos con quitosano evidencian una menor contaminación.

Los tratamientos que mejores resultados arrojan, respecto a la vida útil de las frutillas, fueron T4, T3, T7 y T8.

BIBLIOGRAFÍA

Araya, E. 2006. Evaluación sensorial de los alimentos. Pp.68. *In*: Guía de laboratorio. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 81p.

Berger, H. 2004. Situación comercial, técnica y de innovación de los productos mínimamente procesados en el Gran Santiago, Chile. p 25-30. *In*: González, G. y F. Cuamea. Estado actual del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica. San José, Costa Rica, Abril 2004. CIAD, A.C., Hermosillo, Sonora, México.

Consumer Eroski. 2009. Fundación Eroski. Las frutas una a una. Fresas y Fresones. Disponible en:

<http://www.frutas.consumer.es/documentos/fresas/fresas/intro.php> . Leído el 24 de Junio de 2009.

El Ghaouth, A., J. Arul, R. Ponnampalam, and M. Boulet. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science* 56(6): 1618-1620.

Gonzalez-Aguilar, G.A., I. Monroy-García, F. Goycoolea-Valencia, M.E. Díaz-Cinco y J. F. Ayala Zavala. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresco cortada. p 121-133 *In*: González, G. Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutos y hortalizas. Vegetales frescos cortados. La Habana, Cuba, Marzo 2005. CIAD, A.C., Hermosillo, Sonora, México.

Hernández-Muñoz, P., E. Almenar, V. Del Valle, *Simiente* 80(1-2):59-78

D. Velez and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x annasa* Duch.) quality during refrigerated storage. *Food chemistry* 110: 428-435.

MINISTERIO DE SALUD, Chile. 2008. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Decreto supremo N° 977/96, título V de los criterios microbiológicos, párrafo III, pp77. Comidas y platos preparados, 193p.

PROCHILE. 2004. Departamento de Comunicaciones Direcon. Frutillas Chilenas presentes en todo el Mundo. Disponible en: <http://www.prochile.cl/noticias/noticia.php?sec=2674>. Leído el 25 de Octubre de 2007.

Reyes, M.S., A. M. Piagentini, D.R. Güemes y M.E. Pirovani. 2007. Procesamiento y calidad de frutillas frescas cortadas. p 71-76. *In*: González, G. y J.F. Ayala-Zavala. Avances Tecnológicos en el Procesado Mínimo Hortofrutícola. Cartagena, Murcia, España. 29 de Mayo-2 de Junio 2007. CIAD, A.C., Hermosillo, Sonora, México.

Rojas, M.R. 2006. Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortadas: Una nueva estrategia de conservación. Tesis Doctoral. Universidad de Lleída. Departamento de Tecnología de Alimentos. Lleída, España. 310p.

Rosen, J.C. y A.A. Kader. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *Journal of Food Science* 54(3): 656-659.

Ryall, A.L., W.J. Lipton y W.T. Pentzer. 1981. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Second edition. The Avi Publishing Company, Westport, Connecticut, EEUU. 587p.

Tapia, M. 1998. Procesamiento mínimo de granada variedad Wonderful. Memoria de título

enero-junio 2010

en Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 72p.

Williner, M.R., M.E. Pirovani y D.R. Güemes.

2003. Ellagic acid content in strawberries of different cultivars and ripening stages. Journal of the Science of Food and Agriculture 83: 842-845.

ANEXO I

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LA PAUTA NO ESTRUCTURADA 0-15 (cm)

Calidad Sensorial (Apariencia y Textura)

0	-	1,7	Muy mala.
1,76	-	3,50	Mala.
3,51	-	5,24	Deficiente.
5,25	-	6,99	Menos que regular.
7,00	-	7,99	Regular.
8,00	-	9,75	Más que regular.
9,76	-	11,50	Buena.
11,51	-	13,25	Muy Buena.
13,26	-	15,00	Excelente

Intensidad (aroma, dulzor, gusto, ácido, amargor, consistencia, sabor, etc.).

0	-	1,75	Sin aroma, dulzor, amargor.....
1,76	-	3,50	muy suave o muy bajo.....
3,51	-	5,24	Suave, bajo.....
5,25	-	6,99	Levemente suave o levemente bajo....
7,00	-	7,99	Normal o moderado (nota)....
8,00	-	9,75	Levemente alto....
9,76	-	11,50	Alto...
11,51	-	13,25	Muy dulce, muy ácido, muy aromático....
13,26	-	15,00	Extremadamente alto....

Aceptabilidad

0	-	1,75	Desagrada extremadamente	
1,76	-	3,50	Disgusta mucho	
3,51	-	5,24	Disgusta poco	Zona de rechazo
5,25	-	6,99	Disgusta algo	
7,00	-	7,99	Indiferente	Zona de indiferencia
8,00	-	9,75	Gusta algo	
9,76	-	11,50	Gusta medianamente	
11,51	-	13,25	Gusta mucho	Zona de aceptación
13,26	-	15,00	Gusta extremadamente	

ANEXO 2

COMIDAS Y PLATOS PREPARADOS LISTOS PARA CONSUMO O QUE REQUIEREN CALENTAMIENTO (se incluyen platos servidos directamente al público).

Parámetro	Plan de muestreo			Límite por gramo		
	Categoría	Clases	n	c	m	M
Rcto. Aerobios Mesóf. (*)	3	3	5	1	5x10 ⁴	5x10 ⁵
<i>Enterobacteriaceas</i>	6	3	5	1	5x10 ³	5x10 ⁴
<i>S. aureus</i>	6	3	5	1	10	5x10 ²
<i>B. cereus</i> (**)	6	3	5	1	50	5x10 ²
<i>C. perfringens</i> (***)	6	3	5	1	50	5x10 ²
<i>Salmonella</i> en 25g.	10	2	5	0	0	-----

(*) Excepto con ingredientes fermentados o madurados con cultivos bacterianos.

(**) Sólo con arroz.

(***) Sólo con carnes.

h) n = número de unidades de muestras a ser examinadas;

i) m = valor del parámetro microbiológico para el cual o por debajo del cual el alimento no representa un riesgo para la salud;

j) c = número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos comprendidos entre “m” y “M” para que el alimento sea aceptable;

k) M = valor del parámetro microbiológico por encima del cual el alimento representa un riesgo para la salud.

l) categoría de riesgo: la relación entre el grado de peligrosidad que representa el alimento para la salud en relación con las condiciones posteriores de manipulación.

Fuente: Reglamento Sanitario de los Alimentos (2008). Ministerio de Salud Chile.

EFFECTO DEL MICRORELIEVE Y LA INFLUENCIA DE *Acacia caven* (Mol.) Mol. SOBRE LA HUMEDAD DE SUELO Y PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE LA PRADERA ANUAL DE CLIMA MEDITERRÁNEO: ESTUDIO DESCRIPTIVO

Effect of Microrelief and *Acacia caven* (Mol.) Mol. Influence on Soil Moisture and Dry Matter Production of Annual Mediterranean Grassland: a Descriptive Study

Luis Piña M. y Alfredo Olivares E.

¹ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Casilla 1004, Santiago, Chile.

E-mail: luispina@uchile.cl

RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto del microrelieve y la influencia del estrato arbóreo sobre la humedad del suelo y el crecimiento de la pradera anual de clima mediterráneo. En una plantación de 10 años de *Acacia caven*, la cual presentaba un marco de plantación de 6 x 6 m, se ubicaron franjas de estudio. Los tratamientos a evaluar fueron: sin microrelieve y sin influencia arbórea (T0), sin microrelieve y con influencia arbórea (T1), con microrelieve e influencia arbórea (T2) y con microrelieve, pero sin influencia arbórea (T3). Se midió humedad de suelo y producción final de materia seca.

Se observó que la humedad de suelo fue mayor en los tratamientos con cobertura arbórea. En los tratamientos con microrelieve, hubo un contenido de agua superior en la zona baja de éste. El mejor nivel de producción de materia seca de la pradera se produjo en el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea, fundamentalmente por el aporte de materia seca generado en la zona baja del microrelieve. Se concluye que el efecto del microrelieve y la influencia de *Acacia caven*, actuando en forma sinérgica, provoca cambios en la humedad del suelo, permitiendo mejores condiciones para el crecimiento del estrato herbáceo.

Palabras clave: microrelieve, humedad de suelo, espinal, pradera anual.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of microrelief and influence of tree cover on soil moisture and growth of annual mediterranean grassland. In a 10-year *Acacia caven* plantation with a 6 x 6 m cultivation frame, were located rows of study. The treatments were without microrelief and without tree influence (T0), with tree influence and without microrelief (T1), with microrelief and tree influence (T2) and with microrelief, but without tree influence (T3). Soil moisture and total dry matter production were measured.

Results showed that soil moisture was higher in treatments with tree cover. In microrelief treatments, the water content was higher in the lower areas of microrelief. A highest dry matter production was obtained in the treatment with microrelief and tree influence, primarily by the contribution generated by the lower area of microrelief. It was concluded that the effect of microrelief and *Acacia caven* influence, changed soil moisture and improved dry matter production.

Key words: microrelief, soil moisture, espinal, annual grassland.

INTRODUCCIÓN

La pradera anual de clima mediterráneo es una de las principales fuentes de alimentación para rumiantes menores en el secano interior de la zona central de Chile. El crecimiento y desarrollo de este tipo de praderas depende, fundamentalmente, de la temperatura y la cantidad y distribución de las precipitaciones (Olivares, 2006). Según Cornaglia et al. (2005), la humedad del suelo durante la germinación de las semillas y la emergencia determina, en gran medida, el buen establecimiento de las plantas.

Dado que las precipitaciones en la zona central del país son de escaso monto y tienden a concentrarse en los meses de invierno, se hace necesario mejorar su utilización. Una de las posibles estrategias a utilizar es la generación de microrelieves mediante labranza de suelo, lo que permitiría aumentar la cantidad de agua acumulada en la zona baja de estos (Planchon et al., 2001). Estudios anteriores realizados en la zona del ensayo (Lobos, datos no publicados), señalan que el microrelieve genera condiciones edáficas y microclimáticas más favorables para los procesos de germinación, emergencia y establecimiento de las plantas.

Con respecto a la influencia de un estrato superior en el crecimiento del pastizal, Ben Wu et al. (2001) señalan que cambios en la cobertura arbórea en pastizales semiáridos pueden alterar significativamente las pérdidas por evapotranspiración. Además, la presencia de árboles en los sistemas agrícolas influencia el ciclo hidrológico al afectar la interceptación de lluvias, el escurrimiento y la infiltración de agua por parte del perfil del suelo (Dulormne et al., 2004).

De este modo, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del microrelieve y la presencia arbórea sobre la humedad del suelo y el rendimiento total de materia seca de la pradera anual de clima mediterráneo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó por un período de seis meses, entre mayo y octubre del año 2007, en la Estación Experimental Germán Greve Silva, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (33°29' S, 70°50' O; 465 m.s.n.m). El clima del sector es de tipo mediterráneo, con una temperatura media de 14,3 °C y un promedio de precipitaciones de 308 mm (Santibáñez y Uribe, 1990).

El suelo, de origen coluvial con influencia aluvial, pertenece a la fase franco arenosa, delgada, bien drenada, ligeramente pedregosa, de la Serie *Piedmont Cuesta Barriga* y ha sido clasificado como Typic Haploxeroll (Luzio, 1996).

Se utilizó un sector de 1.296 m² en el cual se encontraba establecida una plantación de *Acacia caven* (Mol.) Mol. de diez años de antigüedad, en un marco de plantación de 6 x 6 m. El estrato herbáceo evaluado correspondió a la pradera anual mediterránea, la cual había permanecido sin alteraciones durante tres años desde el establecimiento de los microrelieves (año 2004), los cuales fueron generados utilizando un arado de discos, realizando una labor similar al proceso de aporca o formación de camellones, provocando una diferencia promedio de 15 cm entre la zona alta y la zona baja del microrelieve (Figura 1).

Se establecieron franjas de estudio en la entre hilera de espinos, las que determinaron los tratamientos a evaluar. Cada franja fue dividida en diez parcelas de 4,5 x 1,9 m, las cuales constituyeron la unidad experimental ($n=10$).

Los tratamientos establecidos en el ensayo fueron T0: sin microrelieve y sin influencia arbórea; T1: sin microrelieve, con influencia arbórea; T2: con microrelieve e influencia arbórea y T3: con microrelieve, sin influencia arbórea.

Se utilizaron dos parcelas para tomar las muestras de suelo y ocho parcelas para las mediciones de la pradera. Para establecer los tratamientos sin cobertura arbórea se eliminó, mediante poda, la mitad de la copa de los

árboles, disminuyendo de este modo la capacidad de modificación del microclima que posee el espino (Figura 1)

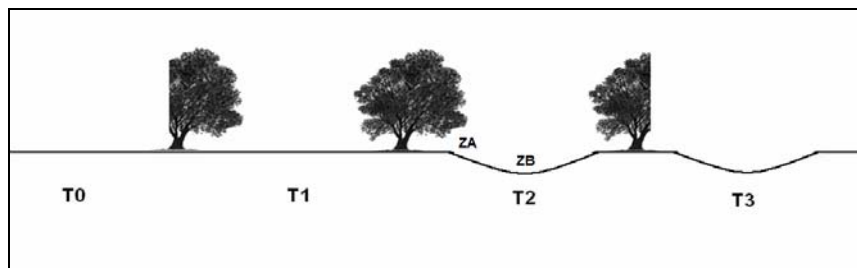


Figura 1. Representación gráfica de los tratamientos establecidos, en vista frontal a las hileras de espinos. ZA: zona alta del microrelieve, ZB: zona baja del microrelieve.

Figure 1. Graphical representation of treatments, in front view to the rows of espinos. ZA: upper zone of microrelief, ZB: lower zone of microrelief.

La humedad fue medida como contenido de agua del suelo, a través del método gravimétrico (Gardner, 1986). Esta variable se midió cada treinta días, tomando en cada tratamiento ocho muestras de suelo de los primeros 30 cm. del perfil, con una pala agrológica. Para los tratamientos con microrelieve, estas ocho muestras correspondieron a cuatro muestras de suelo de la parte baja de la unidad experimental y cuatro muestras de la parte alta (Figura 2). En el período de máxima tasa de crecimiento de la

pradera (meses de septiembre y octubre), estas mediciones se realizaron cada 15 días con el objetivo de caracterizar el eventual aumento de la demanda hídrica de la pradera y la evaporación de la humedad del suelo.

Para expresar estos datos como humedad aprovechable y porcentaje de capacidad de campo, se calculó la densidad aparente del suelo, mediante el método del terrón (Blake y Hartge, 1986).

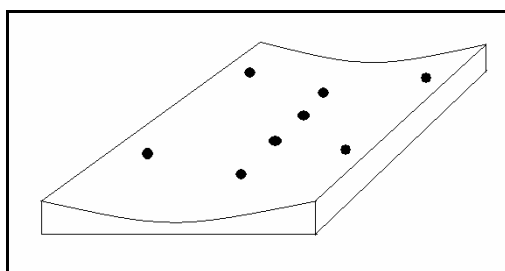


Figura 2. Representación de la metodología para coleccionar las muestras de suelo, en los tratamientos con microrelieve.

Figure 2. Methodology used for collecting soil samples in microrelief treatments.

La producción final de fitomasa de la pradera fue estimada mediante cosecha, al término del período de crecimiento, del contenido de tres cuadrantes de 50 x 50 cm elegidos al azar en cada parcela. Con el propósito de determinar el aporte de materia seca (MS) de las especies de valor forrajero, se realizó una separación manual del material colectado. Estas muestras fueron secadas en una estufa con aire forzado a 65 °C, durante 48 horas.

Dado que no fue factible aplicar el principio de aleatorización en el ensayo, debido a que las situaciones estudiadas estaban pre-establecidas (condiciones de influencia arbórea y microrelieve), la información obtenida se presenta en gráficos y cuadros descriptivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el trabajo realizado por Olivares et al. (1998), la distribución de las precipitaciones correspondieron a un año normal, ya que no presentó una concentración superior al 70% en ninguna de las mitades del ciclo pluviométrico total. No obstante, la primera “lluvia efectiva” (Olivares et al., 2006) se produjo el día 13 de junio, lo que generó un inicio tardío del crecimiento del pastizal. Las últimas precipitaciones ocurrieron en el mes de agosto (Figura 3), lo que marcó severas restricciones de humedad al final del ciclo de crecimiento del pastizal. Las precipitaciones registradas durante el período del ensayo fueron 123,2 mm, las cuales según la clasificación de Gastó (1966), corresponden a un año muy seco.

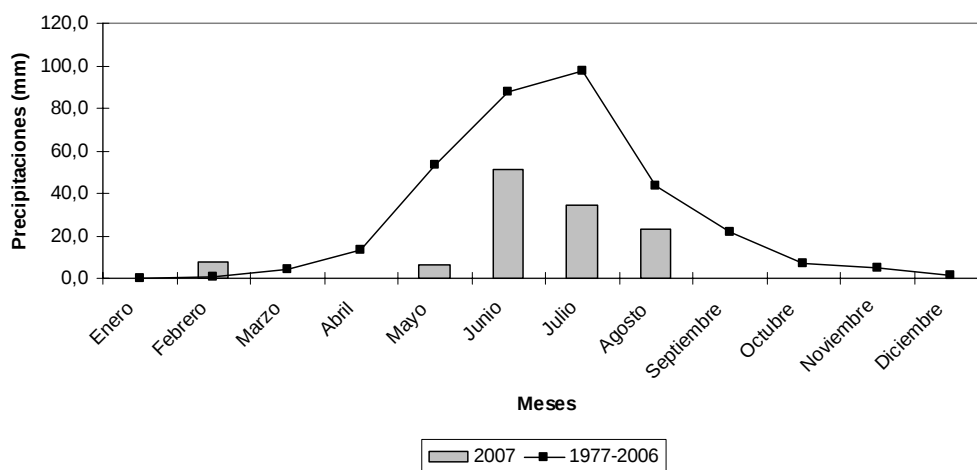


Figura 3. Precipitaciones del año 2007 en la Estación Experimental Germán Greve Silva, en relación al promedio de precipitaciones del período 1977 a 2006.

Figure 3. Precipitation of year 2007 at Germán Greve Silva Experimental Station, in relation to average rainfall for period 1977-2006.

Humedad de suelo

Los tratamientos con cobertura arbórea (T1 y T2) presentaron una humedad aprovechable total de 24,4 y 21,9 cm, respectivamente (Cuadro 1). En el caso de T2, se consideró el promedio de humedad aprovechable de la zona baja y alta del microrelieve. Los

tratamientos sin cobertura arbórea (T0 y T3) presentaron una humedad aprovechable total de 19,6 y 19,2 cm, respectivamente. Al igual que en el caso anterior, para el tratamiento T3 se consideró el promedio de humedad aprovechable de ambas zonas del microrelieve.

Al analizar el efecto de la cobertura arbórea sobre el monto total de humedad aprovechable, se observó que los tratamientos con cobertura arbórea presentaron, en promedio, un aumento de 3,8 cm de agua disponible en el perfil del suelo en relación a los tratamientos sin cobertura arbórea. Con respecto a la influencia del microrelieve en la humedad del suelo, el mayor efecto se produjo en el tratamiento con microrelieve y cobertura arbórea (T2). Este tratamiento presentó una diferencia de un 18% entre la zona baja del microrelieve (ZB) y la zona alta (ZA), siendo mayor el contenido de agua en la zona baja.

En general, los tratamientos con cobertura arbórea mostraron una mayor persistencia de la humedad en el suelo, en particular T1 y la zona baja del microrelieve en T2 (Figura 4). Si bien es cierto que el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2 en ZB) posee una persistencia aparentemente menor, logró su mayor valor de acumulación de agua antes que los otros tratamientos. Cabe destacar que, debido al escaso monto de precipitaciones, el suelo no alcanzó la humedad equivalente a capacidad de campo durante toda la temporada de crecimiento de la pradera.

Cuadro 1. Humedad aprovechable en el suelo (cm) en los primeros treinta centímetros del perfil (promedio $\pm$ DE), según presencia o ausencia de microrelieve y cobertura arbórea.

Table 1. Available soil moisture (cm) in the first thirty centimeters of soil profile, according to presence or absence of tree cover and microrelief.

Tratamiento	Fecha de muestreo					Total
	11/06	11/07	21/08	13/09	26/09	
T0	2,1 $\pm$ 0,1	6,0 $\pm$ 0,4	6,8 $\pm$ 0,4	2,8 $\pm$ 0,3	1,9 $\pm$ 0,4	19,6
T1	2,7 $\pm$ 0,3	7,6 $\pm$ 0,4	8,1 $\pm$ 0,2	3,8 $\pm$ 0,3	2,2 $\pm$ 0,4	24,4
T2 ZB ⁽¹⁾	2,2 $\pm$ 0,3	8,2 $\pm$ 0,6	7,1 $\pm$ 0,6	3,7 $\pm$ 0,2	2,8 $\pm$ 0,2	24,0
T2 ZA ⁽²⁾	1,9 $\pm$ 0,1	6,3 $\pm$ 0,7	6,7 $\pm$ 1,3	2,5 $\pm$ 0,9	2,4 $\pm$ 0,9	19,8
T3 ZB ⁽³⁾	2,1 $\pm$ 0,1	6,9 $\pm$ 0,1	6,5 $\pm$ 0,1	2,9 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,3	20,0
T3 ZA ⁽⁴⁾	2,2 $\pm$ 0,2	5,5 $\pm$ 0,2	6,2 $\pm$ 0,5	2,6 $\pm$ 0,5	1,8 $\pm$ 0,4	18,3

(1): Zona baja del microrelieve en T2; (2): zona alta del microrelieve en T2; (3): zona baja del microrelieve en T3; (4): zona alta del microrelieve en T3

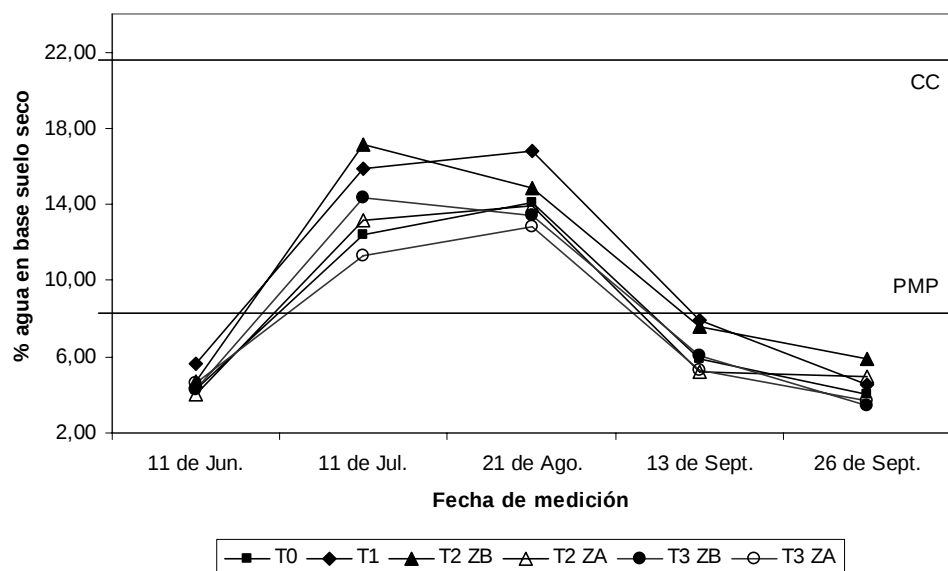


Figura 4. Cinética de la humedad en el suelo, expresada como porcentaje de agua en base a suelo seco, con respecto al punto de marchitez permanente (PMP) y a capacidad de campo (CC).

Figure 4. Kinetic of soil moisture, expressed as a percentage of water based on dry soil, in relation to permanent wilting point (PMP) and field capacity (CC).

Los resultados coinciden con lo señalado por Castillo et al. (1990), quienes obtuvieron una disminución del agua evapotranspirada de la pradera cuando ésta se encontraba bajo la protección de un estrato arbóreo. Según Ben Wu et al. (2001), esto estaría relacionado con el hecho de que la evapotranspiración es mayor cuando no existe influencia de un estrato arbóreo y disminuye cuando existe cobertura arbórea, al incrementarse la modificación del microclima, debido a un aumento en la sombra y a la reducción del efecto ejercido por el viento.

La influencia de la cobertura arbórea sobre la persistencia de la humedad del suelo tendría un efecto significativo sobre la productividad del pastizal. La mantención de la humedad del suelo por sobre el punto de marchitez permanente provocaría un retraso en la senescencia del pastizal y, siendo éste uno de los estados fenológicos de mayor importancia en la regulación de la producción de materia seca de una pradera anual de clima mediterráneo

(Santibáñez et al., 1983), permitiría incrementar la productividad de este tipo de ecosistemas.

En relación al efecto del microrelieve en la humedad del suelo, la acumulación de agua en la zona baja de éste fue mayor sólo cuando la precipitación superó los 10 mm día⁻¹, lo que coincide con el estudio de Wilcox et al. (2006), quienes concluyeron que las ganancias por escurrimiento superficial son relevantes con altos montos de precipitaciones.

Producción de materia seca

La mayor producción de materia seca se obtuvo en el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2), con un rendimiento total de 1.275 kg MS ha⁻¹ (Figura 5). Cabe destacar que este valor incluye la totalidad de especies que presentó el pastizal.

Sin embargo, al desglosar el aporte de materia seca según posición en el microrelieve, se observó que un 63,3% corresponde a la producción generada por la zona baja del microrelieve (806 kg MS ha⁻¹), mientras que la parte alta del microrelieve aportó con sólo el 36,7% (469 kg MS ha⁻¹). Este efecto podría deberse a que los contenidos de humedad aprovechable, materia orgánica y nitrógeno disponible, serían mayores en la parte baja del microrelieve (Lobos, datos no publicados).

El tratamiento sin microrelieve y con influencia del estrato arbóreo (T1) obtuvo la segunda mayor producción, con 1.112 kg MS ha⁻¹. De este modo, se corroboran los resultados de Castillo et

al. (1990), quienes observaron que la eficiencia del uso del agua bajo la proyección de copa del espino es superior, lo que provocaría un aumento de la producción de materia seca.

Según Bartholomew y Williams (2006), contenidos de agua en el suelo bajo el 15% en base a peso seco (expresados como contenido volumétrico), disminuyen la tasa de aparición de hojas nuevas en *Lolium multiflorum* y *Festuca arundinacea*. Así, en los tratamientos que poseen mejores condiciones de humedad en el suelo, la respuesta del pastizal, desde el punto de vista de acumulación de materia seca, sería mayor.

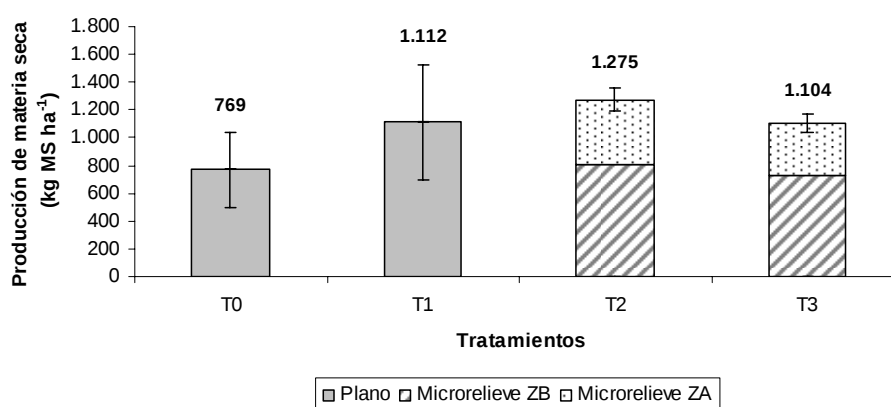


Figura 5. Producción total de materia seca (MS) del pastizal, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Figure 5. Total dry matter production (DM) of pasture, according to presence or absence of microrelief and tree influence.

Al considerar sólo el aporte de materia seca de las especies con valor forrajero conocido (Ovalle y Squella, 1988) presentes en la pradera (Figura 6), se observó que hay un aumento de las diferencias entre el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2) y el resto de las situaciones estudiadas. Este tratamiento presentó una producción de 952 kg MS ha⁻¹ en total, seguido por el área con microrelieve, pero sin cobertura arbórea (T3) con 683 kg MS ha⁻¹.

Al separar la producción de MS de la parte alta y baja del microrelieve, se observó que en los tratamientos que lo presentan, la producción se concentra en la zona baja del microrelieve, superando el 60% de la contribución (Figura 6). Esto estaría relacionado con que algunas especies de la pradera anual mediterránea, en particular *Erodium cicutarium*, poseen una mejor adaptación a zonas microdepresionales (Olivares y Gastó, 1971) y además, producen una mayor cantidad de materia seca en lugares que presentan protección de un estrato superior (Brooks y Berry, 2006).

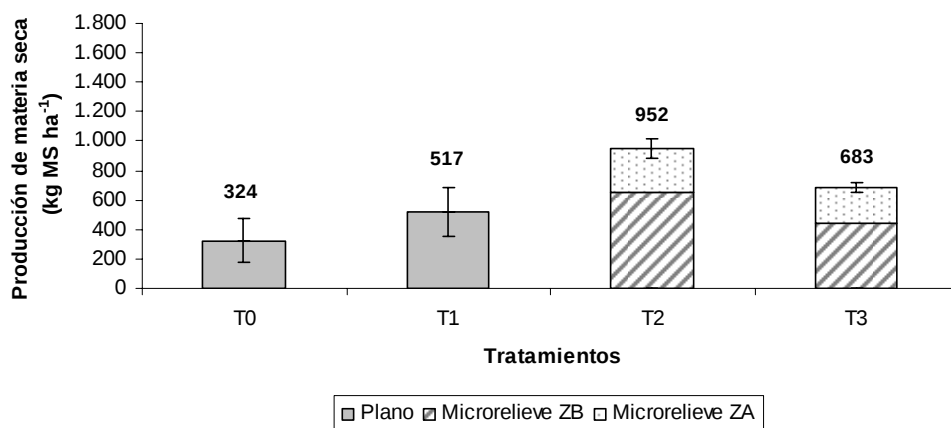


Figura 6. Producción de materia seca (MS) de la pradera, sólo considerando especies con valor forrajero, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Figure 6. Dry matter production (DM) of species with pasture value, according to presence or absence of microrelief and tree influence.

Cabe destacar la baja producción de materia seca que fue medida en el tratamiento sin microrelieve y sin influencia arbórea (T0), la que alcanzó un valor de 324 kg MS ha⁻¹, si sólo es considerado el aporte de las especies con valor forrajero.

CONCLUSIONES

El efecto del microrelieve y la influencia de *Acacia caven*, actuando en forma sinérgica, provocan una mejor condición de humedad en el suelo, creando mejores condiciones para el crecimiento del estrato herbáceo, lo que se refleja en el aumento de la producción de materia seca del pastizal, principalmente generado por el mayor crecimiento que poseen las distintas especies en la parte baja del microrelieve.

LITERATURA CITADA

Bartholomew, P. and R. Williams. 2006. Effects of exposure to below-freezing temperatures, soil moisture content and nitrogen application on phyllochron in cool-season grasses. *Grass and Forage Science* 61:146-153.

Ben Wu, X., E. Redeker and T. Thurow. 2001. Vegetation and water yield dynamics in an Edwards Plateau watershed. *Journal of Range Management* 54:98-105.

Blake, G. and K. Hartge. 1986. Bulk density. pp. 363-375. *En: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Vol. 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.*

Brooks, M. and K. Berry. 2006. Dominance and environmental correlates of alien annual plants in the Mojave Desert, USA. *Journal of Arid Environments* 67:100-124.

Castillo, H., A. Olivares, G. Polzenius y W. Potter. 1990. Variaciones de la humedad aprovechable del suelo y su efecto en la producción de materia seca de la pradera

desarrollada bajo la influencia del espinoso *Acacia caven* (Mol.) Mol. Avances en Producción Animal 15 (1-2):19-27.

Cornaglia, P., G. Schrauf, M. Nardi and A. Deregibus. 2005. Emergence of Dallisgrass as affected by soil water availability. Rangeland Ecology and Management 58:35-40

Dulorme, M., J. Sierra, R. Bonhomme and Y. Cabidoche. 2004. Seasonal changes in tree-grass complementarity and competition for water in a subhumid tropical silvopastoral system. Eur. J. Agron. 21:311-322.

Gardner, W. 1986. Water content. pp. 493-541. En: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Vol. 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Gastó, J. 1966. Variación de las precipitaciones anuales en Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Boletín técnico 24:3-20.

Luzio, W. 1996. Clasificación taxonómica de los suelos de la Región Metropolitana y VI Región (Keys to soil Taxonomy, SCS, USDA, 1994). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos, Santiago. 21 p.

Olivares, A. 2006. Relaciones entre el estrato arbóreo, el estrato herbáceo y la conducta animal en el matorral de *Acacia caven* (espinal). Relations entre la strate arboree, la strate herbacée et le comportement animal dans le matorral d'*Acacia caven* (espinal). Secheresse 17 (1-2): 333-334.

Olivares, A., Johnston, M. y C. Gutierrez. 2006. Crecimiento y desarrollo de *Bromus berterianus* Colla sometido a diferentes regímenes pluviométricos. Agricultura Técnica 66(2):166-173.

Olivares, A., M. Johnston y X. Contreras. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana. Avances en Producción Animal 23 (1-2):35-43.

Olivares, A. y J. Gastó. 1971. Comunidades de terófitas en subseres post-aradura y en exclusión en la estepa de *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. Santiago, Universidad de Chile, Fac. Agronomía. Boletín Técnico N° 34. 24 p.

Ovalle, C. y F. Squella. 1988. Terrenos de pastoreo con praderas anuales en el área de influencia climática mediterránea. pp. 369-409. En: Ruiz, I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 723 p.

Planchon, O., M. Esteves, N. Silvera and J. Lapetite. 2001. Microrelief induced by tillage: measurement and modelling of Surface Storage Capacity. CATENA 46(2-3):141-157.

Santibáñez, F., y J. Uribe. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. 65 p. Ministerio de Agricultura, CORFO, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile.

Santibáñez, F., Silva, M., Sthern, K. y A. Mansilla. 1983. Control climático del crecimiento y la fenología de una pradera mediterránea anual. Avances en Producción Animal 8 (1-2):9-17.

Wilcox, B., Dowhower, S., Teague, R. and T. Thurow. 2006. Long-term water balance in a semiarid shrubland. Rangeland Ecology and Management 59:600-606.