

ISSN 1688-3691

INN TEC

PUBLICACION ANUAL DEL LABORATORIO TECNOLOGICO DEL URUGUAY

N° 3 - 2008

INNOTEC

Número 3 – Diciembre 2008

INNOTEC (ISSN 1688-3691) es una revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Avda. Italia 6201 Tel. (598) 2 601 3724, int. 364. La distribución de esta revista es gratuita; para solicitar un ejemplar diríjase a ditec@latu.org.uy.

Prohibida la reproducción total y parcial de artículos y/o materiales gráficos originales sin mencionar su procedencia. Los conceptos y opiniones vertidos en los artículos son de responsabilidad de sus autores.

Todos los derechos reservados ISSN 1688-3691

Realización gráfica: Antuña Yarza - Tel. 6060723, Montevideo. Impresora Salto. Tiraje: 1000 ejemplares.

INDICE

INNOTEC (ISSN 1688-3691) es una publicación arbitrada del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Esta revista anual recopila las investigaciones realizadas por técnicos del LATU y autores invitados en el marco de distintos proyectos, con el objetivo de apoyar el desarrollo de tecnologías que aporten valor a los procesos de innovación.

En esta edición el énfasis está puesto en cuatro áreas de incidencia: Forestales, Medio Ambiente, Metrología y Tecnología Alimentaria.

La presente publicación incluye la separata "La tecnología como herramienta de inclusión social".

EQUIPO EDITOR

Lic. Celeste Villagrán, jefa del Centro de Información Técnica, LATU

Lic. Marina Barrientos

Lic. Jacqueline Domínguez

Lic. Lorena Fiori

ditec@latu.org.uy

COMITÉ TÉCNICO EVALUADOR

M.C. Luis Omar Becerra

Dra. Zohra Bennadji

Prof. Fernando García Costa

Dra. Ing. Quím. Patricia Gerla

Lic. Enzo Grosso

Dr. Federico Harte

Lic. Gabriella Jorge

Dra. Ing. Quím. Patricia Lema

Dr. Tomás López-Pedemonte

Dra. María Ester Mancebo

MsSc. Ing. Quím. Jorge Martínez Garreiro

Dr. Yoshito Mitani Nakanishi

Dr. Patrick Moyna

Prof. Ing. Quím. Luis Mussio

Dr. Berardi Sensale

Ing. Agr. Cadmo Rosell

Dr. Kyösti Ruuttunen

Índice de autores.....4
Instrucciones a los autores..... 5

FORESTALES

- 7 Durabilidad natural de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de plantaciones de rápido crecimiento
Böthig, S., Sánchez A., Doldán, J.
- 17 Estudio comparativo del proceso de secado de *Eucalyptus grandis* en dos secaderos solares ubicados en diferentes zonas y un secado natural a la intemperie durante el invierno
De Castro, R., Cárdenas, P., Venturino, A., Ono, A.
- 23 Evaluación de la resistencia al cizallamiento por compresión y falla en madera de uniones encoladas en maderas nacionales e importadas
Quagliotti, S.
- 30 Utilización de *Eucalyptus spp.* Alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa Kraft
Doldán, J., Fariña, I., Tarigo, F.

MEDIO AMBIENTE

- 35 La yerba no es basura: lombricultura y producción de Vermicompost a partir de residuos de yerba mate en Uruguay
Torrendel, M., Useta, G., Pelerino, F.

METROLOGÍA

- 40 Ensayo de aptitud realizado en LATU para validación del método de calibración y uso de pipetas de vidrio y pipetas automáticas
Santo, C., Constantino, P., Sica, A.
- 44 Método de Cuckow para la calibración de aerómetros: diseño y puesta a punto del equipo
Cáceres, J., Santo, C.
- 49 Procedimiento para la caracterización de una celda de punto triple de agua Isotech en el LATU
Robatto, O., Sica, A., Santo, C.

TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

- 54 Cambios reológicos del queso Colonia durante el proceso de maduración
Crosa, M. J., Harispe, R., Márquez, R., Pelaggio, R., Repiso, L., Silvera, C.
- 57 Elaboración, caracterización y comparación de películas comestibles en base a aislado de proteínas de suero lácteo (WPI)
Escobar, D., Márquez, R., Repiso, L., Sala, A., Silvera, C.
- 63 Fruto autóctono butiá: innovación y transferencia tecnológica
Betancurt, P., Gioscia, D., Ayres, C., Arcia, P.
- 72 Productos a base de jugo de manzana: aprovechamiento agroindustrial de un excedente
Betancurt, P., Gioscia, D., Betancor, J., Arcia, P.

INDICE DE AUTORES

Arcia, P. 63, 72
Ayes, C. 63
Betancor, J. 72
Betancurt, P. 63, 72
Böthig, S. 7
Cáceres, J. 44
Cárdenas, P. 17
Constantino, P. 40
Crosa, M. J. 54
De Castro, R. 17
Doldán, J. 7, 30
Escobar, D. 57
Fariña, I. 30
Gioscia, D. 63, 72
Harrispe, R. 54
Márquez, R. 54, 57
Ono, A. 17
Pelaggio, R. 54
Pelerino, F. 35
Quagliotti, S. 23
Repiso, L. 54, 57
Robatto, O. 49
Sala, A. 57
Santo, C. 40, 44, 49
Sánchez, A. 7
Sica, A. 40, 49
Silvera, C. 54, 57
Tarigo, F. 30
Torrendel, M. 35
Useta, G. 35
Venturino, A. 17

Instrucciones a los autores para publicar en INNOTEC

Ámbito de los artículos y proceso de revisión

INNOTEC publica artículos originales inéditos o artículos editados y autorizados por el correspondiente comité editor, dentro de los campos de interés de la institución. Esta publicación anual recopila las investigaciones realizadas por técnicos del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) y autores invitados en el marco de distintos proyectos.

En la edición 2008, el énfasis está puesto en cuatro áreas de incidencia: Forestales, Medio Ambiente, Metrología y Tecnología Alimentaria.

El proceso de revisión de la revista comienza con el (a) envío por parte del autor de su texto completo, por vía electrónica, a ditec@latu.org.uy. El Centro de Información Técnica (CITEIN) del LATU notifica al autor la recepción del texto y remite el artículo al miembro idóneo del (b) comité técnico editorial (árbitro del proceso editorial de INNOTEC), quien evaluará el desarrollo específico del mismo, tanto en sus aspectos temáticos como metodológicos. El (c) equipo editor contacta al autor en respuesta a los comentarios que hace el evaluador del artículo. El (d) CITEIN edita el artículo aplicando en el texto las normas del manual de estilo y envía la última versión revisada al autor para su aprobación final.

Se debe considerar para poder incluir artículos completos, que los mismos no deberán tener derechos de autor otorgados a terceros a la fecha de envío del artículo. Los autores deberán firmar un formulario de cesión de derechos autorales y posteriormente enviarlo al CITEIN, personalmente o a través de ditec@latu.org.uy.

En el caso de artículos con derechos de autor, solo se publicarán aquellos que cuenten con autorización expresa de la empresa a cargo de su edición.

Los conceptos y opiniones vertidos en los artículos publicados y el uso que otros puedan hacer de ellos son de responsabilidad de sus autores. Esta responsabilidad se asume con la sola publicación del artículo enviado.

El CITEIN se reserva el derecho de realizar modificaciones que considere favorables a la óptima presentación de los contenidos en la revista.

Normas de presentación de los textos

Por favor, siga atentamente las siguientes normas de publicación. Ante cualquier consulta, diríjase al correo electrónico de referencia, ditec@latu.org.uy.

Adjunte la siguiente información: título del artículo en mayúsculas y minúsculas. Nombre completo de todos los autores, citados en orden creciente de importancia para el desarrollo del artículo, señalando a su responsable, quien operará como contacto en las comunicaciones electrónicas subsiguientes. El responsable es el autor intelectual del documento, sin mediar otras jerarquías funcionales. Indicar la sección o departamento al que pertenecen y empresa de la que forma parte; esta característica se consigna con números de referencia, colocados entre paréntesis junto al nombre de cada autor.

La estructura de los textos incluye: un resumen, en inglés y español, de 200 palabras máximo en su versión castellana; el texto de una (1) a seis (6) páginas de desarrollo (introducción, métodos, descripción de equipos, descripción de programas, desarrollo de teorías, resultados y discusión, conclusiones, referencias, tablas, figuras e imágenes) **.

El artículo deberá ser presentado en fuente Arial 11, a espacio simple, con títulos en mayúsculas y minúsculas y en formato .doc, de cualquier versión de Microsoft Word.

Formato y estilo

- **Título.** Refleja el contenido del texto con precisión, en un máximo de dos líneas. Es neutro e informativo.
- **Resumen.** Provee información específica. Sintetiza, anuncia y jerarquiza contenidos.
- **Introducción.** Incluye antecedentes concretos y datos del proceso, enumeración de objetivos e importancia del tema.
- **Materiales y Métodos.** Relato de los métodos y procedimientos que permitieron obtener los resultados presentados. Obtención del material, condiciones y metodología. Análisis estadísticos, programas.
- **Resultados.** Presentación y expresión de los mismos en tablas y figuras.
- **Discusión (Conclusión).** Se sigue el orden de presentación o el orden de importancia de los resultados. Se priorizan aquellos resultados que surgieron del diseño experimental. Se define y diferencia claramente el aporte del trabajo en relación al conocimiento previo.
- **Reconocimientos.** Breve reconocimiento a quienes colaboraron en la producción del artículo y/o que permitieron el desarrollo de la investigación.
- **Referencias.** Ver Manual de estilo de presentación de citas y referencias documentales del LATU.

Ejemplos usuales:

Monografías

APELLIDO(S), Nombre. Título del libro. N° de edición. Lugar de edición: editorial, año de edición. (Serie; N°). ISBN
Ejemplo:

BOBBIO, Norberto. Autobiografía. Madrid: Taurus, 1988. 299 p. ISBN: 84-306-0267-4

El Lazarillo de Tormes. Marañón, Gregorio (prol.). 10a ed. Madrid: Espasa Calpe, 1958. (Colección Austral; 156)

Revistas

Título de la publicación en cursiva. Responsabilidad. Edición. Identificación del fascículo. Lugar de edición: editorial, fecha del primer volumen-fecha del último volumen. ISSN. Ejemplo:
Boletín económico. Banco de España. 1998, n° 1. Madrid: Banco de España, Servicio de Publicaciones, 1979-. ISSN: 0210-3737

Artículos de revistas

APELLIDO(S), Nombre. Título del artículo. Responsabilidad

** En esta edición algunos de los artículos fueron presentados previo a la formalización de estos requisitos, por lo que exceden la extensión recomendada.

secundaria. En: Título de la publicación seriada. Edición. Localización en el documento fuente: año, número, páginas. Ejemplos:

LLOSA, Josep, et al. Modulo scheduling with reduced register pressure. En: IEEE Transactions on computers. 1998, 47(6):625-638.

ALVAREZ, Begoña; BALLINA, F. Javier de la; VÁZQUEZ, Rodolfo. La reacción del consumidor ante las promociones. En: MK Marketing + Ventas. 2000, (143):33-37

Normas

ENTIDAD RESPONSABLE DE LA NORMA. País de la entidad responsable entre paréntesis. No. o código de la norma : Título. Lugar de publicación: editorial abreviada, año de publicación.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (España). UNE 166000 EX, UNE 166001 EX, UNE 166002 EX : Gestión de la I+D+I. Madrid: AENOR, 2002.

INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS. (Uruguay). UNIT-ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad - requisitos. Montevideo: UNIT, 2000.

Textos electrónicos, bases de datos y programas informáticos

Responsable principal. Título [tipo de soporte]. Edición. Lugar de publicación: editor, fecha de publicación, fecha de actualización o revisión, [fecha de consulta]. Descripción física. (Colección). Notas. Disponibilidad y acceso. Número normalizado. Ejemplos (en norma ISO 690-2):

CARROLL, Lewis. Alice's Adventures in Wonderland [en línea]. Texinfo ed. 2.1. [Dortmund, Alemania]: WindSpiel, November 1994 [Consulta: 10 de febrero de 1995]. Disponible en Web: <<http://www.germany.eu.net/books/carroll/alice.html>>. Igualmente disponible en versiones PostScrip y ASCII en Internet: <<ftp://ftp.Germany.EU.net/pub/books/carroll/>>U.S. ISBN

Patentes

MENCIÓN DE RESPONSABILIDAD PRINCIPAL. Denominación del elemento patentado. Identificador del documento (país u oficina que lo registra). Clase internacional de documento de patente. Número. Año-mes-día de publicación del documento.

GREEN, Daniel R. Cereal flake with topical pieces. United State Patent. 0101. D572,427. 2008-07-08

Secciones. Los títulos de sección (que señalan Introducción, Metodología, Discusión, etc.) deben ser escritos en mayúscula y minúsculas, estilo de fuente negrita o bold y centrados en el texto. Los subtítulos serán justificados a la izquierda, escritos en mayúscula y minúsculas, también en negrita o bold. Tanto la primera letra del título y la primera letra de los nombres propios deben ser escritas en mayúscula. Se debe dejar un espacio entre líneas antes y después de cada subtítulo.

Fórmulas, figuras, tablas e imágenes. Las figuras deben numerarse correlativamente en orden de aparición en el texto, y deben incluir un breve título explicativo en el margen inferior a las mismas. Si es necesario incluir fotos o imágenes, éstas se deben designar como figuras. Las fotos deben ser nítidas y enviadas en formato jpg (mínimo

300 px aseguran una buena calidad de impresión). Las tablas deben ser numeradas correlativamente y en forma independiente de las figuras, y cada entrada debe ocupar su propia celda. Se deben numerar según el orden de aparición en el texto, incluyendo un título explicativo en la parte inferior de la tabla.

Cada figura debe ser remitida en su propio archivo. Las tablas y figuras deberán insertarse en el artículo y ubicarse cercanas al lugar del texto donde fueron mencionadas. Los números y símbolos empleados no deben ser menores al tamaño usado en el resto del texto (Arial 11).

Durabilidad natural de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de plantaciones de rápido crecimiento*

Böthig, S. ⁽¹⁾, Sánchez, A. ⁽¹⁾, Doldán, J. ⁽¹⁾

Contacto: sbothig@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Proyectos Forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 15/9/2008 - Aprobado: 31/12/2008

*Ponencia presentada en la 39th Annual Meeting of International Research Group on Wood Protection, (Estambul 25-29 de mayo de 2008). Estambul: IRG, 2008.

Resumen

Una de las especies forestales de rápido crecimiento cultivadas en Uruguay de mayor importancia económica es el *Eucalyptus grandis*. Trabajos anteriores reportan propiedades físicas y mecánicas de la madera juvenil y adulta proveniente de plantaciones de esta especie en diferentes regiones del país. Sin embargo, dado que no se dispone de datos científicos nacionales sobre su durabilidad natural, en este trabajo fue evaluada madera de *E. grandis* obtenida de dos plantaciones de 16 años de edad con semilla del mismo origen, de dos sitios, Rivera y Río Negro. Se estudió la durabilidad natural del duramen externo e interno siguiendo los métodos de la norma EN 350-1, tomando *Populus deltoides* x euroamericana cv I-214 como especie de referencia. Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la descomposición fúngica (*Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* y *Serpula lacrymans*) y a las termitas (*Reticulitermes* spp.) siguiendo las normas EN 113 y EN 118, respectivamente. Se realizaron ensayos de campo de estacas, de doble capa y cámara fúngica, los cuales aún están en curso, por lo que en el presente trabajo se presentan resultados parciales. Los perfiles radiales de densidad básica revelaron que la madera del duramen externo no era adulta, sino madera de transición. En general, el duramen de *E. grandis* mostró una mayor durabilidad que el híbrido *Populus*. El *E. grandis* se clasificó como moderadamente o seriamente atacado por *Reticulitermes* spp. Según EN 350-1, la madera juvenil de *E. grandis* puede considerarse como “moderadamente durable” ante la pudrición parda provocada por *G. trabeum*, mientras que la madera de transición puede describirse como “durable”. La madera de transición mostró en relación a la madera juvenil una mayor resistencia al *G. trabeum*, una susceptibilidad levemente menor a las termitas y mejor desempeño en el campo luego de 17 meses de exposición. El sitio de la plantación no parece afectar la vulnerabilidad a las termitas del *E. grandis* cultivado en la región norte u oeste de Uruguay. Hasta el momento, los resultados de campo sugieren mejor desempeño para el sitio II que para el sitio I. Sin embargo, aún es muy pronto para extraer conclusiones válidas de los ensayos de doble capa o de estacas. La durabilidad natural podría estar relacionada con la densidad. Otros estudios son necesarios para extraer conclusiones certeras al respecto.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*, durabilidad natural, madera juvenil, densidad.

Abstract

One of the fast growing species cultivated in Uruguay of major economical importance is *Eucalyptus grandis*. Physical and mechanical properties of juvenile and mature wood from different regions have been reported. However, since no scientific data of natural durability of this specie has been reported, natural durability of *E. grandis* from two sites (Rivera and Río Negro) was evaluated. Two sixteen years old plantations, originated by seed of same source, were sampled. Natural durability of outer and inner heartwood was studied following EN 350-1 methods. *Populus deltoides* x euroamericana cv I-214 was tested as reference specie. EN 113 laboratory tests for fungal decay (*Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* and *Serpula lacrymans*) and EN 118 for termites resistance (*Reticulitermes* spp.) were performed. Field stakes, double layer and fungal cellar tests were established. They are still on course and partial results are reported below in this paper. Upon basic density radial profiles, it was found that outer heartwood was not mature wood, but can be assumed as transition wood. In general, *E. grandis* heartwood showed higher durability than *Populus* hybrid. *E. grandis* appeared moderately or seriously attacked by *Reticulitermes* spp. *E. grandis* juvenile wood can be classified according EN 350-1, as “Moderately Durable” against the brown rotter *G. trabeum*, whereas transition wood can be described as “Durable”. Transition wood has shown higher resistance to *G. trabeum*, slightly less susceptibility to termites and a better condition in the field (17 months exposure) than juvenile wood. Site of plantation does not seem to affect termites susceptibility of *E. grandis* cultivated in the Northern or Western region of Uruguay. Field performance seems to be slightly better for site II than site I. However, it is too soon to draw valid conclusions from double layer or field stakes test. Natural durability might be related to density. Deeper studies should be done to draw any certain conclusion.

Key words: *Eucalyptus grandis*, natural durability, juvenile wood, wood density.

Introducción

Eucalyptus grandis Hill ex Maiden es una de las especies forestales más importantes plantadas con destino de aserrío en Uruguay. Si bien existen varios estudios de investigación sobre sus propiedades físicas y mecánicas (Doldán, 2001; Pérez del Castillo, 2001; O'Neill et al.

2005a, 2005b y 2005c), existe escasa información sobre la durabilidad natural del *E. grandis* cultivado (Da Silva Oliveira, 1999), y ninguna disponible sobre el duramen de *E. grandis* proveniente de plantaciones de rápido crecimiento en Uruguay. Por lo tanto, y considerando que el duramen es sumamente difícil de impregnar, se decidió estudiar su durabilidad.

Se ha observado variación en las tasas de crecimiento, así como

en la calidad de la madera entre las diferentes regiones forestales en Uruguay. Si bien Malan (1997) indica que no existe una correlación significativa entre la tasa de crecimiento y la calidad de la madera de *E. grandis*, establece un considerable efecto del sitio en la calidad, que se manifiesta, por ejemplo, en la densidad y la longitud de fibras.

Al no disponerse al momento de realizar este trabajo de plantaciones clonales, se evaluó el efecto del sitio en algunas propiedades físicas y la durabilidad natural, estudiando madera de dos montes originados de la misma semilla, plantados en el mismo año y cosechados a la misma edad. Los dos montes escogidos tenían tasas de crecimiento típicamente diferentes.

Es un hecho conocido que la madera adulta de *E. grandis* tiene propiedades de mejor calidad que la madera juvenil, tales como mayor densidad y mayor resistencia mecánica (Doldán, 2001; Pérez del Castillo, 2001; Doldán y Böthig, 2002). A pesar de que esta diferencia es menos marcada que en las coníferas, es necesario tenerla en cuenta, especialmente para la gestión y la cosecha forestal. Esta especie de árbol de rápido crecimiento se cosecha generalmente a edades muy tempranas, por lo que el estudio de madera juvenil parece ser un punto importante para la cadena de transformación de la madera.

El presente trabajo propone evaluar las diferencias en la durabilidad entre la madera juvenil y adulta y la posible relación con la densidad.

El estudio, que aún se está desarrollando en base a la norma EN 350-1, incluye ensayos de laboratorio para determinar el deterioro debido a la acción de hongos y termitas. También abarca las siguientes pruebas de campo: ensayo de estacas y de doble capa y el ensayo de cámara fúngica (EN 252; Rapp et al. 2001; Nagano, 2001).

Como especie de referencia se estudió *Populus deltoides x euroamericana* cv I-214 (álamo). Este género de madera se considera como clase 5, "no durable", según la categorización EN 350-2, y se comporta de forma similar a la haya (Van Acker et al. 2003). A diferencia de *Fagus sylvatica* (haya), esta especie se planta en Uruguay y su madera seca al aire puede adquirirse fácilmente en el mercado.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación titulado "Durabilidad y preservación de las maderas nacionales para uso en la construcción" (PDT S/C/OP/35-11), que se está desarrollando en el LATU desde setiembre de 2006, apoyado por el gobierno (CONICYT) y el LATU.

Materiales y Métodos

Madera de *Eucalyptus grandis*

Se obtuvieron muestras de dos plantaciones originadas de la misma semilla local de *E. grandis* Hill Ex Maiden en diferentes lugares del país.

- Semilla: Bañados Medina (local).
- Edad al momento de la cosecha: 16.
- Sitio I: Rivera, Uruguay (norte).
- Ubicación geográfica: LS 31° 21' 15.79"- LO 55° 27' 31.34".
- Densidad de la plantación al momento del muestreo: 130 árbol/ha.
- Sitio II: Río Negro, Uruguay (Oeste).
- Ubicación geográfica: LS 32° 54' 41.67"- LO 57° 58' 48.25".
- Densidad de la plantación al momento del muestreo: 756 árbol/ha.

Muestreo. Se seleccionaron 50 árboles en función de la forma del fuste, el estado sanitario y la forma de la copa. Se midieron el diámetro y la penetración por Pilodyn a la altura del pecho. De acuerdo a la distribución natural del diámetro y Pilodyn se seleccionaron los individuos a muestrear. Número de árboles muestreados: 8 (sitio I) y 10 (sitio II). En la Tabla 1 se presentan las características de la muestra obtenida.

Proceso de aserrado. Los árboles fueron procesados en el aserradero del laboratorio dentro de los 10 días después de ser cosechados.

De este proceso se obtuvieron listones de 2 pulgadas de ancho,

que se distribuyeron en las siguientes clases: tablas de albura, tablas de duramen interno denominadas "A" (alrededor de la médula) y tablas de duramen externo denominadas "C".

	SITIO I		SITIO II	
	DAP (cm)	Pilodyn (mm)	DAP (cm)	Pilodyn (mm)
Media	44,3	16,0	36,3	15,0
Mín.	39,0	14,0	29,0	13,5
Máx.	54,7	18,0	42,0	16,5
CV(%)	12	8,0	12	6,7

Tabla 1. Valores del DAP y penetración por Pilodyn de los árboles muestreados en ambos sitios.

Secado. Inmediatamente después del aserrado, la madera se secó en horno, siguiendo programas de baja temperatura. La madera del sitio I fue procesada en un horno de secado convencional, mientras que por razones locativas la madera del sitio II debió secarse en un horno de secado solar.

Madera de referencia

Se utilizó madera de *Populus deltoides x euroamericana* cv I.214 proveniente de plantaciones del departamento de San José, en la región sur del país. No se dispone de datos de la plantación. Se seleccionaron tablas secadas al aire de diferentes pilas extraídas de más de tres árboles.

Densidad básica

De cada troza se muestreó una rodaja a una altura de aproximadamente 2,60 m. Se cortó una tira de 4 cm de ancho sin defectos, a lo largo de todo el diámetro. Luego se cortó en trozos desde la médula a la corteza de forma regular. Se calculó la densidad básica como el cociente entre el peso anhidro y el volumen saturado (ASTM D 2395).

Acondicionamiento

Todas las muestras se mantuvieron en una cámara de acondicionamiento a 20 °C y 65%HR hasta la ejecución de los ensayos biológicos de laboratorio.

Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la descomposición fúngica

Se siguieron los procedimientos de la norma EN 113 y se consideraron cuatro niveles:

- Sitio I, posición A
- Sitio I, posición C
- Sitio II, posición A
- Sitio II, posición C

En el presente estudio se incluyeron las tres especies de hongos basidiomicetes recomendados en la norma EN 350-1 para los ensayos de madera de latifoliadas:

Trametes versicolor (ATCC 12679),
Gloeophyllum trabeum (ATCC11539),
Serpula lacrymans (BAM Ebw 315).

Se realizó la incubación en cámara acondicionada a 22 °C durante

16 semanas. Para los ensayos del sitio I se mantuvo la humedad relativa (HR) con una solución saturada de cloruro sódico. En el caso de las pruebas del sitio II, se controló la HR a 70 %.

Al finalizar los ensayos se registraron las descripciones visuales del micelio, del medio de cultivo y de la probeta, así como del crecimiento del micelio en la misma. Se evaluó el deterioro en forma cualitativa y se cuantificó el contenido de humedad final y la pérdida de peso.

Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia al ataque de termites

Fueron realizados de acuerdo con la norma EN 118 (Wood preservatives - Determination of preventive action against *Reticulitermes* species, 2005). Se recogieron termites del género *Reticulitermes* spp.² alrededor de las instalaciones del LATU y se formaron siete colonias, que fueron mantenidas en laboratorio. De estas colonias se tomaron las termites para los ensayos. Las colonias se armaron de forma tal que todos los individuos provinieran de la misma colonia madre.

Se seleccionaron cinco árboles de cada sitio para la prueba. Se evaluaron duplicados de cada posición radial (A y C) para cada árbol. Tanto la posición A como C se evaluó usando termites que provenían de una misma colonia. Los ensayos de albura de *E. grandis* y del híbrido *Populus* aún se están desarrollando.

El número de soldados y ninfas se determinó según la proporción natural de las castas presentes en las colonias.

Todos los ensayos transcurrieron durante ocho semanas bajo condiciones estándar. Se supervisaron diariamente para mantener el contenido de humedad y realizar control de fugas. Cada espécimen se mantuvo en una caja de plástico y de esta forma los individuos escapados se devolvieron al ensayo. Los insectos muertos fueron sustituidos por individuos de las colonias. Se sellaron las perforaciones, se observó y se registró la actividad de la colonia, se destruyeron las chimeneas y túneles externos.

Luego de ocho semanas, se hizo un recuento de los sobrevivientes y se clasificó el daño a la madera según la escala de clasificación de la norma EN 118. Se evaluaron el contenido de humedad y la pérdida de peso.

Ensayo de campo con estacas

Se prepararon estacas de las tablas A y C de todos los árboles, según la norma EN 252 (Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact, 1989).

Se ensayó el híbrido *Populus* como especie de referencia. El ensayo se realizó en los alrededores del laboratorio, en donde existen poblaciones activas de termites. En este predio se encontraron dos especies, y si bien una corresponde al género *Reticulitermes*, ambas están en proceso de identificación.

Luego de transcurrido un año y medio desde la instalación del ensayo, algunas estacas debieron ser sustituidas por sufrir daños externos. Se realizaron las evaluaciones según la norma EN 252, a partir de los 6,7 y 17,4 meses de exposición a la intemperie.

Ensayo de doble capa

El ensayo se diseñó según el método propuesto por Rapp et al. (2001, 2003a, 2003b, 2006). Consiste en un ensayo de exposición a

la intemperie en posición horizontal sin contacto con el suelo. Las probetas se disponen paralelamente entre sí, en dos capas alternadas, formando un piso que se apoya por los extremos de las mismas sobre vigas de madera. Se prepararon probetas de las dimensiones establecidas por la norma EN 252 para la posición A y C de todos los árboles en ambos sitios.

Hasta el momento el ensayo lleva 17 meses desde su instalación.

Densidad y contenido de humedad

Se determinaron la densidad y el contenido de humedad para cada ensayo biológico y para cada probeta evaluada. A partir de listones se cortaron las probetas de ensayo y otras para determinar la densidad y el contenido de humedad.

Se calculó la densidad como el cociente del peso anhidro sobre el volumen en condiciones de ensayo. Las dimensiones de las probetas se midieron con un calibre digital (Mitutoyo). El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa.

Resultados y Discusión

Densidad básica

Se realizó una prueba t de Student sobre valores experimentales y se confirmó que las densidades de la madera de ambos sitios eran diferentes, presentando el sitio II valores más altos que los del sitio I

	Sitio I	Sitio II
Media	0,390	0,464
Mín.	0,327	0,414
Máx.	0,513	0,530
N	42	40
Std	0,038	0,028
CV (%)	9,8	6,1

N = número de repeticiones; Std = desviación estándar; CV = coeficiente de variación

Tabla 2. Densidad básica (g/cm³). Comparación de ambos sitios³.

Las Figuras 1 y 2 muestran la distribución radial de la densidad básica para cada árbol. Se evidencia que los individuos siguen patrones diferentes, pero la tendencia general es el aumento con la distancia relativa desde la médula. No hay evidencia clara de la estabilización de las pendientes de las curvas para todos los árboles, lo que significa que es posible que los tejidos externos sigan siendo madera de transición (Downs, 1997). Esto concuerda con las zonas de transición ya indicadas por Doldán y Böthig (2002) y Doldán (2003). Para confirmar lo anterior, deberían realizarse análisis más detallados de los datos experimentales y estudios adicionales tales como medidas de la longitud de fibras.

El último punto de cada perfil corresponde a la albura. Esto reafirma la idea de que el duramen externo estudiado aquí sería madera de transición.

² La identificación de la especie aún está siendo realizada por la Dra. Ana Aber, Facultad de Ciencias, UDELAR, Universidad de la República Oriental del Uruguay.

³ Los datos de los 10 cm internos (en diámetro) del rolo fueron excluidos.

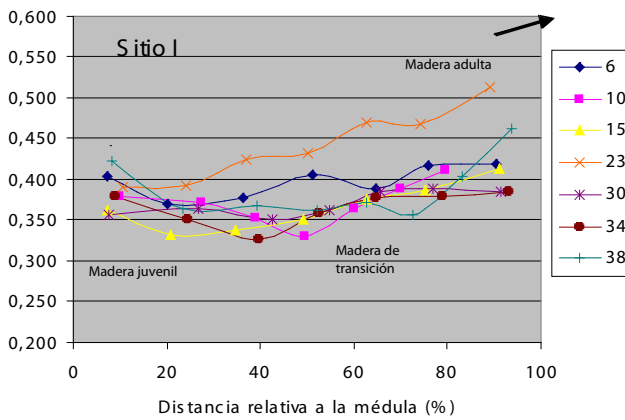


Figura 1. Perfiles radiales individuales de la densidad básica para cada árbol. Sitio I.

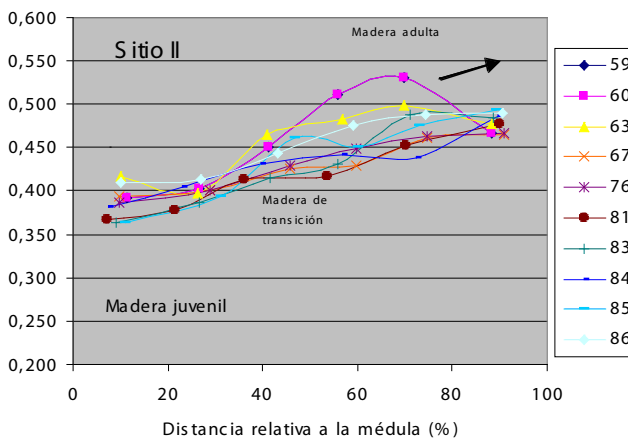


Figura 2. Perfiles radiales individuales de la densidad básica para cada árbol. Sitio II.

Todos los resultados se expresan como porcentaje y se corrigen por la pérdida de peso de los controles. Se indican los valores de la mediana, ya que se considera que disminuyen el impacto de los valores extremos (Van Acker et al. 2003). En los resultados de estos ensayos se evidencia que el promedio resulta sumamente afectado por los valores extremos, mientras que la mediana refleja mejor la tendencia general. Se aplicaron pruebas t de Student con $\alpha=0,05$ para la comparación de las medias.

Trametes versicolor. Todos los hongos evolucionaron de forma adecuada durante las pruebas, cubriendo completamente la superficie del medio y no resultaron afectados por ningún tipo de contaminación. Sin embargo, *Trametes versicolor* presentó una virulencia extremadamente baja en ambas pruebas (A y C), tanto para el sitio I como para el sitio II. Esto se reflejó en los resultados de la pérdida de peso: un valor promedio bajo y un coeficiente de variación sumamente alto (Tablas 3 y 4). La pérdida de masa no cumplió con los requisitos de la norma ni coincidió con los valores de la referencia bibliográfica (Van Acker et al. 2003 y EN 350-2).

No es posible extraer mayores conclusiones de estos resultados debido a la baja virulencia demostrada por la cepa utilizada.

No obstante, es posible señalar que bajo las condiciones especiales descritas anteriormente, el *E. grandis* presentó mayor resistencia que el álamo a la descomposición de *T.versicolor*.

Especie	<i>E. grandis</i>		Álamo		Relación Eg/álamo	
	A	C	A	C	A	C
Posición radial						
MEDIA	1,86	3,42	11,02	9,62	0,41	11,50
MEDIANA	1,73	2,87	8,36	4,49	0,22	0,68
MÍN.	0,26	0,60	1,92	-0,07	0,01	0,03
MÁX.	3,8	7,70	26,5	26	1,99	75
N	8	8	8	8	8	8
STD	1,1	2,5	7,9	10,7	0,70	26,0
CV	61	73	71	112	170	226

Eg/álamo = pérdida de peso relativa calculada para los pares de cada recipiente de ensayo.

Tabla 3. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): Sitio I / *Trametes versicolor*.

Especie	<i>E. grandis</i>		Álamo		Relación Eg/álamo	
	A	C	A	C	A	C
Posición radial						
MEDIA	11,1	4,50	7,29	5,88	40,0	14,7
MEDIANA	7,76	4,74	3,82	3,25	3,57	1,56
MÍN.	2,96	0,31	-0,35	-0,09	0,177	0,019
MÁX.	27,3	12,9	20,9	19,9	165	90
N	10	10	10	10	10	10
STD	8,8	3,9	8,2	7,6	60	30
CV	79	87	113	129	151	202

Tabla 4. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): Sitio II / *Trametes versicolor*.

En consecuencia, se tomaron dos medidas:

- Para aumentar la virulencia del inóculo para ensayos posteriores, se inoculó la misma cepa en madera de *Eucalyptus* previamente incorporada en agar malta, incubada a 22 °C y luego transferida a placas de Petri con agar malta;
- Se analizó la descomposición por *T. versicolor* en el *Populus* y la albura de *Eucalyptus* conjuntamente.

La Tabla 5 muestra cómo mejoró significativamente la virulencia de *T. versicolor*. La mediana de la pérdida de peso del álamo aumentó de cerca de 10 % hasta 41 %. El coeficiente de variación disminuyó de aproximadamente 100 % a 33 %. Según la prueba t de Student, no es posible encontrar diferencias entre las pérdidas de peso de la albura *E. grandis* y el álamo.

Especie	<i>E. grandis</i>	Álamo	Relación Eg/álamo
MEDIA	48,0	44,0	1,26
MEDIANA	45,9	41,2	1,05
MÍN.	36,7	26,3	0,61
MÁX.	63,4	62,2	2,41
N	6	6	6
STD	11,4	14,5	0,7
CV	24	33	56

Tabla 5. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): duramen de *E. grandis* y álamo / *Trametes versicolor*.

La misma cepa analizada en *Pinus taeda* arrojó pérdidas de masa de hasta 60 %⁴.

⁴ Datos aún no publicados.

Gloeophyllum trabeum. Las medias de la pérdida de masa para álamo fueron comparadas para los ensayos de ambos sitios y posiciones mediante pruebas t de Student, no mostrando diferencia estadística significativa. Esto significa que los cuatro ensayos pueden compararse unos con otros. Se calcula el promedio de todas las pérdidas de peso del álamo, que alcanza aproximadamente un 20 %. En consecuencia, los resultados que figuran en la Tabla 6 se consideraron válidos de acuerdo a lo establecido por la norma, a pesar de ser más bajos que los valores reportados en otros trabajos (Van Acker et al. 2003 y EN 350-2). La misma cepa analizada posteriormente en *Pinus taeda* en el laboratorio causó pérdidas de masa de entre 30 y 60 %³.

Si se utiliza el valor de la mediana de la relación Eg/álamo, la madera juvenil de *E. grandis* (posición A) resultó “moderadamente durable” según la clasificación de EN 350-1, mientras que la madera de transición (posición C) se incluyó en la clase “durable”. Se evaluó la pérdida de masa absoluta según los criterios de clasificación propuestos por Van Acker et al (2003). La madera de transición de ambos sitios pudo clasificarse como “durable” ante *G. trabeum*. Mientras que la madera juvenil del sitio I se incluyó en la misma categoría, la madera juvenil del sitio II resultó en la clase “moderadamente durable”.

Especie	<i>E. grandis</i>		Álamo		Relación Eg/álamo	
	A	C	A	C	A	C
MEDIA	7,30	5,85	21,8	18,0	1,01	3,63
MEDIANA	6,30	5,97	24,7	20,8	0,35	0,29
MÍN.	4,61	3,08	1,73	0,30	0,11	0,13
MÁX.	12,7	9,10	42,1	39,7	5,78	14,1
N	8	8	8	8	8	8
STD	3,0	1,9	13,1	14,3	2,1	6,0
CV	41	33	60	80	203	165

Tabla 6. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): Sitio I / *Gloeophyllum trabeum*

Especie	<i>E. grandis</i>		Álamo		Relación Eg/álamo	
	A	C	A	C	A	C
MEDIA	9,57	4,82	17,0	22,1	1,25	14,3
MEDIANA	10,13	4,97	17,7	21,8	0,57	0,15
MÍN.	0,78	1,30	2,44	-0,06	0,14	0,064
MÁX.	16,0	8,05	38,7	45,3	4,77	113
N	10	10	10	10	10	10
STD	4,11	2,32	13,1	14,1	1,48	35,8
CV	43	48	77	64	118	250

Tabla 7. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): Sitio II / *Gloeophyllum trabeum*.

Se observan menores pérdidas de peso al aumentar la densidad; sin embargo, el coeficiente de correlación no es significativo (Figura 3).

Como el contenido de los extractivos en la madera puede afectar la durabilidad natural, deberían ensayarse probetas previamente extraídas para eliminar la incidencia de este parámetro. Esto permitiría evaluar más claramente el efecto de la densidad sobre la durabilidad, eliminando el efecto de los extractivos.

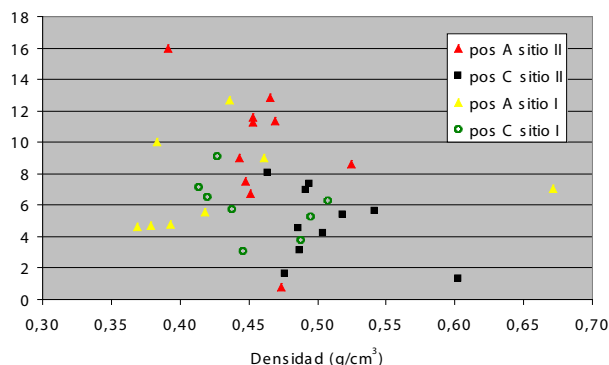


Figura 3. Pérdida de peso del duramen de *E. grandis* representada en función de la densidad de la madera.

Serpula lacrymans. Si bien se observó crecimiento vigoroso del micelio sobre el medio de cultivo, en general no colonizó especímenes de álamo. No obstante, la colonización tuvo éxito en los bloques de *E. grandis*, resultando más vigorosa en los especímenes del sitio I. De todas formas, la pérdida de peso no correlacionó con este crecimiento (Tablas 8 y 9).

Especie	<i>E. grandis</i>		Álamo		Relación Eg/álamo	
	A	C	A	C	A	C
MEDIA	3,54	1,63	2,20	0,36	7,47	4,13
MEDIANA	2,53	1,73	0,48	0,39	5,01	3,07
MÍN.	0,11	-0,04	0,28	0,10	0,14	-0,16
MÁX.	15,1	3,98	14,2	0,58	35,8	10,9
N	8	8	8	8	8	8
STD	4,8	1,4	4,8	0,2	11,8	3,3
CV	137	88	220	50	158	81

Eg/álamo = pérdida de peso relativa calculada para los pares de cada matriz.

Tabla 8. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): Sitio I / *Serpula lacrymans*.

Especie	<i>E. grandis</i>		Álamo		Relación Eg/álamo	
	A	C	A	C	A	C
MEDIA	-0,05	-0,80	0,33	-1,15	74,20	60,30
MEDIANA	0,41	0,12	0,20	0,23	3,81	0,67
MÍN.	-5,19	-3,62	0,12	-14,30	33,09	27,49
MÁX.	2,9	0,16	0,8	1,56	101,2	106,5
N	9	5	9	9	9	9
STD	2,1	1,6	0,2	5,0	23,4	32,4
CV	--	--	--	--	32	54

Tabla 9. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): Sitio II / *Serpula lacrymans*.

En base a los resultados arriba expuestos, se ensayó la descomposición por *Serpula* sobre *Populus* y albura de *Eucalyptus* conjuntamente, repitiéndose los resultados sobre álamo; un buen desarrollo sobre el medio de cultivo en todos los recipientes de ensayo, crecimiento vigoroso sobre los bloques de *Eucalyptus* y muy poco o ninguna colonización sobre álamo. No se encontró daño cualitativo o

cuantitativo (Tabla 10).

Especie	Albura de <i>E. grandis</i>	Álamo	Relación Eg/álamo
MEDIA	-0,07	-0,18	-0,07
MEDIANA	-0,04	-0,18	-0,04
MÍN.	-0,58	-0,80	-0,58
MÁX.	0,40	0,70	0,40
N	6	6	6
STD	0,31	0,66	0,31

Tabla 10. Resultados de la pérdida de peso para EN 113 (%): albura de *E. grandis* y álamo / *Serpula lacrymans*.

Ensayos de laboratorio para termitas

La clasificación de los daños osciló entre 2 y 4, con un valor de la media de 3,6 (Tabla 11, Figura 4). Esto significa vulnerabilidad moderada y alta vulnerabilidad del duramen de *E. grandis* al ataque de las termitas (EN 118).

Al comparar la posición A con la C no existen diferencias estadísticas entre los valores de la media, pero es posible observar una menor frecuencia de la clasificación 4 para la posición C (en ambos sitios). Esto sugeriría que la vulnerabilidad ante termitas podría ser más baja en los tejidos adultos.

Los resultados correspondientes a la madera del sitio II sugieren una menor vulnerabilidad que los del sitio I. A pesar de ello, no es posible encontrar diferencias estadísticas entre las pérdidas de peso.

SITIO	Posición radial		Densidad (g/cm ³)	CH inicial (%)	CH final (%)	Pérdida de peso (%)
I	A	Promedio	0,433	10,9	14,8	2,0
		Mín.	0,368	10,6	9,5	1,2
		Máx.	0,684	11,0	17,2	2,8
		Std	0,087	0,18	2,16	0,51
		CV	20	1,6	15	26
		N	11	11	11	11
	C	Promedio	0,433	10,9	14,8	2,0
		Mín.	0,368	10,6	9,5	1,2
		Máx.	0,684	11,0	17,2	2,8
		Std	0,087	0,18	2,16	0,51
		CV	20	1,6	15	26
		N	11	11	11	11
II	A	Promedio	0,467	10,6	16,3	1,8
		Mín.	0,387	10,4	14,9	1,1
		Máx.	0,517	10,8	17,8	2,4
		Std	0,042	0,14	0,98	0,38
		CV	9,1	1,4	6,0	21
		N	10	10	10	10
	C	Promedio	0,504	10,7	16,1	1,4
		Mín.	0,458	10,4	12,0	0,9
		Máx.	0,561	10,8	17,3	1,9
		Std	0,031	0,12	1,68	0,30
		CV	6	1,1	10	21
		N	10	10	10	9

Tabla 11. Datos iniciales de los especímenes de prueba, contenido de humedad final y pérdida de peso.

SITIO	Posición radial		Nº de perforaciones	Clasificación*	Sobrevivientes (Nº)		Sobrevivientes (%)
					Obreras	Soldados	
I	A	Promedio	0,64	3,9	76	4	35
		Mín.	0	3	33	2	15
		Máx.	3	4	99	6	44
		Std	0,92	0,30	19	1,4	8,6
		CV	145	7,7	25	37	25
		N	11	11	11	11	11
	C	Promedio	0	3,5	63	2	28
		Mín.	0	3	7	0	3
		Máx.	0	4	111	3	50
		Std	0	0,53	40	1,0	17,6
		CV	---	15,1	63	57	62
II	A	Promedio	0,20	3,7	52	1	23
		Mín.	0	2	0	0	0
		Máx.	1	4	112	4	50
		Std	0,42	0,67	39	1,3	17,5
		CV	211	18,2	75	96	75
		N	10	10	10	10	10
	C	Promedio	0	3,2	49	3	22
		Mín.	0	2	0	0	0
		Máx.	0	4	97	5	44
		Std	0	0,79	35	2,2	15,8
		CV	---	24,7	71	80	70
N	10	10	10	10	10		

*Escala de clasificación: 0: sin daños, 1: tentativa de ataque, 2: daño leve, 3: daño moderado, 4: daño serio

Tabla 12. Evaluación final de los ensayos: clasificación EN 118, perforaciones en madera y sobrevivientes.

Al analizar los resultados individuales se observa una buena repetibilidad. Además, algunos árboles parecerían tener una resistencia levemente superior (Figuras 4 y 5).

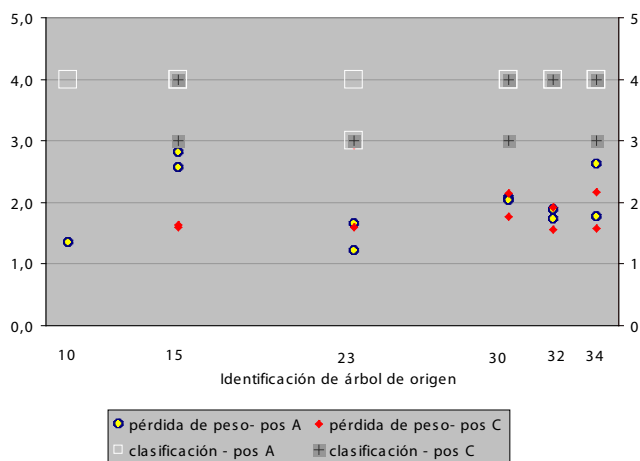


Figura 4. Resultados individuales de la pérdida de peso y clasificación según EN 118 representados en función de la identificación del árbol. Posiciones A y C. Sitio I.

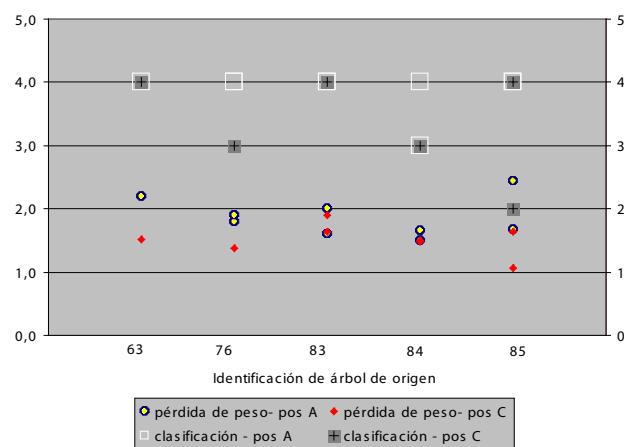


Figura 5. Resultados individuales de la pérdida de peso y clasificación según EN 118 representados en función de la identificación del árbol. Posiciones A y C. Sitio II.

A medida que aumenta la densidad de la madera se manifiesta una tendencia negativa para el ataque de las termitas. Sin embargo, el coeficiente de correlación es bajo, especialmente en el caso del sitio I (Figura 6).

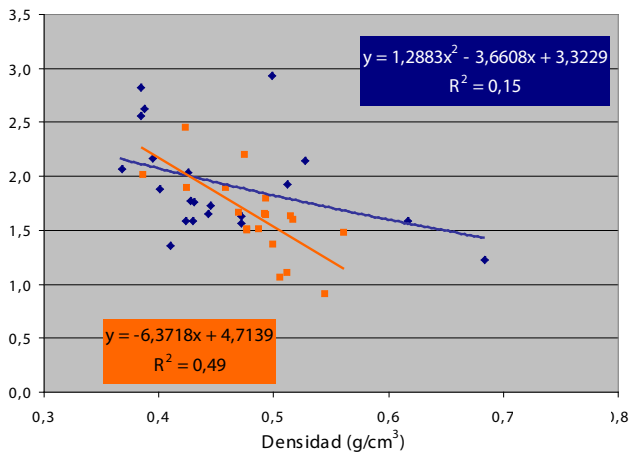


Figura 6. Ensayo de termitas. Pérdidas de peso de los especímenes de madera en función de la densidad de la madera.

Tal como se indicó anteriormente, los ensayos del híbrido *Populus* y el duramen de *Eucalyptus* aún se están desarrollando.

Ensayo de campo de estacas

Este ensayo comenzó en julio de 2007 y la última evaluación se realizó a los 17 meses del comienzo del mismo.

Por el momento no se han detectado ataques de termitas ni en el *Eucalyptus* ni en el *Populus*.

Se ha observado pudrición blanca no sólo en las estacas de *Populus* sino también en las de *E. grandis*. Por el momento no se ha detectado pudrición parda.

Las clasificaciones de *Eucalyptus* oscilaron entre 0 y 3, en donde 0 significa "sano" y 3 "ataque severo". La media total de los dos sitios y las dos posiciones fue 1,8, en donde 1 corresponde a "ataque leve" y 2 indica "ataque moderado". Por otro lado, las clasificaciones de *Populus* variaron de 2 a 4, en donde 4 es la clasificación para "falla". El *Populus* presentó cuatro estacas falladas y un promedio de 3,2.

En la última evaluación, el sitio II presentó un desempeño superior al del sitio I. También se observó una mejor condición en los especímenes de C que en los de A (Figuras 7 y 8).

El sitio I y el sitio II presentaron clasificaciones de descomposición similares.

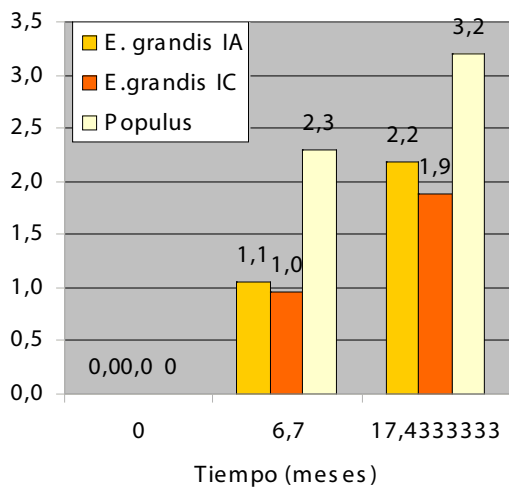


Figura 7. Clasificaciones promedio según EN 252 para el ensayo de campo de estacas. Sitio I.

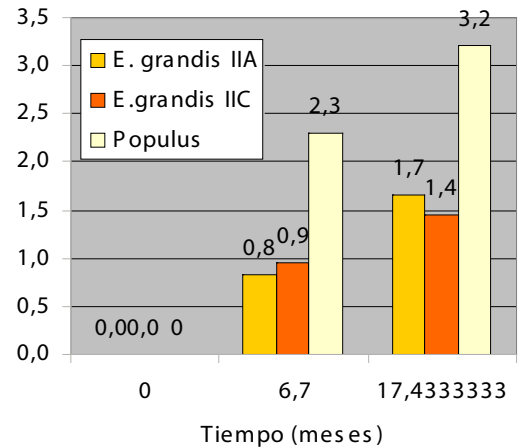


Figura 8. Clasificaciones promedio según EN 252 para el ensayo de campo de estacas. Sitio II.

Ensayo de doble capa

Esta prueba comenzó el mismo año que el ensayo de estacas.

Luego de transcurridos seis meses de instalado, pudo observarse pudrición blanca en el ensayo. Se extendió desde las vigas de apoyo de pino que ya estaban podridas. En ese momento se cambiaron los apoyos por vigas de *Eucalyptus*. En la segunda evaluación se pudo observar cierta descomposición en el punto de contacto entre ambas capas, que había estado funcionando como colector de agua, tal como se esperaba. La capa inferior presentó siempre un peor estado de descomposición. Hasta la última evaluación, la pudrición blanca fue el único tipo de pudrición observada.

Durante los 17 meses de la prueba, el *E. grandis* arrojó mejores resultados que el híbrido *Populus* (Figuras 9 y 10).

Ambas posiciones, A y C, presentan las mismas clasificaciones promedio. Tampoco es posible diferenciar los sitios II y I entre sí.

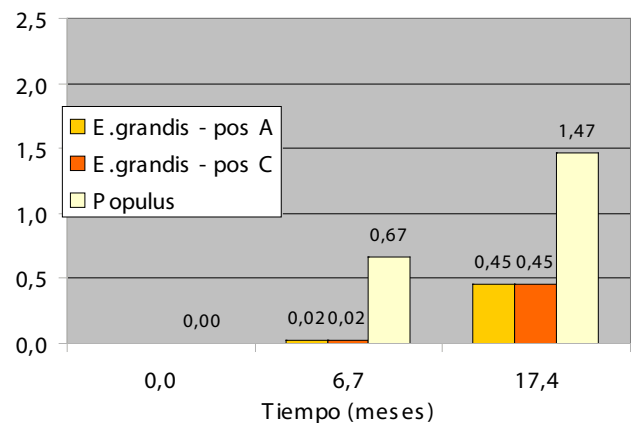


Figura 9. Clasificaciones según EN 252 para el ensayo de doble capa. Sitio I.

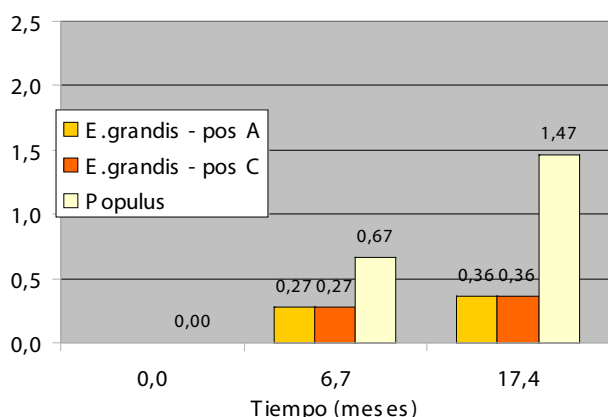


Figura 10. Clasificaciones según EN 252 para el ensayo de doble capa. Sitio II.

Conclusiones

Las conclusiones que se expresan a continuación se refieren a las plantaciones de rápido crecimiento de *E. grandis* de 16 años de edad muestreadas en la región norte (sitio I) y oeste (sitio II) de Uruguay.

1. El duramen de *E. grandis* que se analiza en el presente no sería madera adulta. El material de la posición A es madera juvenil en su totalidad, mientras que puede suponerse que el de la posición C es madera de transición. A partir de esto se concluye que las propiedades de la madera adulta podrían ser diferentes de las que aquí se informaron para la posición C.
2. En todos los ensayos realizados, el duramen de *E. grandis* presentó una mayor durabilidad que el híbrido *Populus*.
3. Según EN 350-1, la madera juvenil de *E. grandis* puede clasificarse como "moderadamente durable" ante el hongo de pudrición parda *G. trabeum*, mientras que la madera de transición puede describirse como "durable" frente al mismo hongo.
4. La albura de *Eucalyptus* y el *Populus* presentaron la misma resistencia ante el *G. trabeum*.
5. Los ensayos de laboratorio con *Trametes versicolor* y *Serpula lacrymans* deberían ser repetidos.
6. En este trabajo, la madera de *E. grandis* fue atacada de forma moderada o grave por *Reticulitermes spp.*
7. El sitio de la plantación parece no afectar la vulnerabilidad a las termitas del *E. grandis* cultivado en las regiones norte u oeste de Uruguay.
8. El desempeño en ensayos de campo de la madera proveniente del sitio II se vislumbra preliminarmente mejor que el del material del sitio I. Sin embargo, es aún muy pronto para extraer conclusiones sobre la durabilidad, ya sea del ensayo de doble capa o del de campo de estacas.
9. La madera de transición ha presentado mayor resistencia al hongo de pudrición parda *Gloeophyllum trabeum*, una susceptibilidad levemente menor a las termitas y mejores condiciones en el campo luego de 17 meses de exposición. En base a estos resultados puede esperarse que la madera adulta de *Eucalyptus grandis* tenga mayor durabilidad natural que la madera juvenil.
10. Es posible que la durabilidad natural esté relacionada con la densidad. Deberían realizarse más estudios para obtener conclusiones sólidas.

Reconocimientos

Agradecemos a las personas y organizaciones que figuran a continuación:

- Al LATU y al gobierno uruguayo por el apoyo financiero al proyecto PDT/S/C/OP/35-11 en el marco del PDT.
- A las empresas forestales Eufores e Industrias Forestales Puerto Arazatí, y al INIA (Instituto Nacional de Investigaciones

Agropecuarias), por brindarnos material sobre la madera.

- A la Dra. Ina Stephan, BAM.
- Al Dr. Koichi Yamamoto (FFPRI, Tsukuba, Japón), por el asesoramiento técnico.
- Al Dr. Holger Miltz, por la estadia de Silvia Böthig en el Instituto de Biología de la Madera y Tecnología de la Madera, Universidad de Goettingen.
- Al Dr. Sadaaki Ohta, LATU, por su apoyo.
- A nuestro equipo de trabajo y a todas las personas que contribuyeron con este trabajo.

Referencias

- AMERICAN WOOD PRESERVER'S ASSOCIATION STANDARD (United States). E14-02: *Standard method of evaluating wood preservatives in a soil bed*. Birmingham: AWP Subcomitee P-6, 2003.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (España). UNE-EN 460: *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo*. Madrid: AENOR, 1995.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (España). UNE-EN 350-2: *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa*. Madrid: AENOR, 1995.
- BÖTHIG, S. Densidad y otros indicadores de calidad de *Eucalyptus grandis* para el mejoramiento genético enfocado a la calidad. En: IUFRO. *Actas del Simposio. Desarrollando el Eucalipto del futuro. Tema 4: Mejoramiento para Calidad de Madera y Fibra*, (Valdivia 10-15 de setiembre 2001). Valdivia: IUFRO, 2001.
- DA SILVA OLIVEIRA, J.T. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. En: Universidad Federal de Vicos. *Workshop: Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto*, (Vicos 22-24 de junio de 1999). Vicos: Universidad Federal de Vicos, 1999. p. 39-52.
- DOLDÁN, J. *Indicadores de calidad de madera Eucalyptus grandis de Río Negro, Uruguay: contenido de humedad, densidad, contracción y largo de fibras*. Montevideo: LATU, 2001. (Informe de Investigación. Serie Forestales; 9)
- DOLDÁN, J.; BÖTHIG, S. Propiedades físicas fundamentales en maderas de especies de prioridad forestal. En: JICA; LATU. *Seminario de productos forestales*, (Montevideo diciembre de 2002). Montevideo: LATU, 2002.
- DOWNES, G.M., et al. *Sampling plantation eucalyptus for wood and fiber properties*. Melbourne: CSIRO Publishing, 1997.
- EUROPEAN COMITTEE FOR STANDARDIZATION (Belgium). EN 113: *Wood preservatives. Test method for determining to protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes. Determination of toxic values*. Brussels: ECS, 1996.
- EUROPEAN COMITTEE FOR STANDARDIZATION (Belgium). EN 118: *Wood preservatives. determination of preventive effectiveness against Reticulitermes santonensis de Feytaud*. Brussels: ECS, 1990.
- EUROPEAN COMITTEE FOR STANDARDIZATION (Belgium). EN 252 AC1: *Field test method for determining the relative effectiveness of wood preservative in ground contact*. Brussels: ECS, 1989.
- EUROPEAN COMITTEE FOR STANDARDIZATION (Belgium). EN 350-1: *Durability of wood and wood based products. Natural durability of solid wood. Part I: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood*. Brussels: ECS, 1994.
- LORENZO, D., et al. Study of the natural durability of spanish *Eucalyptus globulus* wood [En línea]. En: IRG. *38th Annual Conference of the International Research Group on Wood Preservation. Section I. Biology*, (Wyoming junio 2007). [Consulta: 25 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.irg38.com/PDF%20Presentations/07-10617%20Lorenzo%20Troja.pdf>
- MALAN, F. S. South Africa's experience. En: CTIA; IUFRO. *Proceedings of the CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop*, (Quebec 18-22 de agosto de 1997). Quebec: IUFRO-CTIA,

- 1997.
- MALAN, F.S. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. En: *South African Forestry Journal*. 1991, (157):16-23.
 - NAGANO, Y. *Fungus cellar testing as an evaluation method for performance of treated timber in ground*. Stockholm: International Research Group on Wood Preservation, 2001. (IRG/WP; 01-20227).
 - O'NEILL, H.; TARIGO, F.; IRAOLA, P. *Propiedades mecánicas de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden del Norte de Uruguay*. Montevideo: LATU, 2005a. (Informe; 4).
 - O'NEILL, H., et al. *Propiedades mecánicas de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden. del Norte de Uruguay*. Montevideo: LATU, 2005b. (Informe; 5).
 - O'NEILL, H., et al. *Propiedades mecánicas de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden. del Centro de Uruguay*. Montevideo: LATU, 2005c. (Informe; 6).
 - PÉREZ DEL CASTILLO, A. *Propiedades mecánicas y calidad de madera de Eucalyptus grandis del norte de Uruguay*. Montevideo: LATU, 2001. (Informe de Investigación. Serie Forestales; 4).
 - RAPP, A. O.; AUGUSTA, U.; PEEK, R. D. *Facts and ideas of testing wood durability above ground* [En línea]. Hamburgo: BFH, 2001. [Consulta: 25 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.bfafh.de/inst4/43/pdf/3doublay.pdf>
 - RAPP, A. O.; AUGUSTA, U. Some fundamental thoughts on the prediction of field performance from lab-testing based on comparison of lab and field results of some copper-free materials. En: IRG. *34th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation. Section 2. Test Methodology and Assessment*, (Brisbane 18-23 de mayo de 2003a). Brisbane: IRG, 2003.
 - RAPP, A. O.; AUGUSTA, U. The natural durability of wood in different use classes. En: IRG. *34th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation. Part I, Section 1. Biology*, (Brisbane 18-23 de mayo de 2003b). Brisbane: IRG, 2003.
 - RAPP, A. O., AUGUSTA, U., BRANDT, K. The natural durability of wood in different use classes. En: IRG. *37th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection. Section 1. Biology*, (Tromsø 18-22 de junio de 2006). Tromsø: IRG, 2006.
 - VAN ACKER, J., et al. Biological durability of wood in relation to end-use. Part 1. Towards a European standard for laboratory testing of the biological durability of wood. En: *Holz als Roh-und Werkstoff*. 2003, (61):35-45.

Estudio comparativo del proceso de secado de *Eucalyptus grandis* en dos secaderos solares ubicados en diferentes zonas y un secado natural a la intemperie durante el invierno

De Castro, R. ⁽¹⁾, Cárdenas, P. ⁽¹⁾, Venturino, A. ⁽²⁾, Ono, A. ⁽³⁾

Contacto: rdecas@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Proyectos Forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay, (LATU) - ⁽²⁾ Departamento de Proyectos Forestales (2004 - 2006), LATU - ⁽³⁾ Departamento de Proyectos Forestales (2002 - 2006), LATU

Recibido: 8/9/2008 - Aprobado: 27/11/2008

Resumen

En la siguiente nota técnica se presentan los resultados de tres ensayos de secados de tablas de *Eucalyptus grandis* de 27 mm de espesor, realizados durante los meses de invierno. Dos de ellos fueron realizados en secaderos solares tipo semi invernadero (ubicados en Paysandú y en Montevideo), y uno fue realizado secando a la intemperie (en Montevideo).

Se registraron las condiciones de humedad relativa y temperatura del aire durante los tres ensayos y se compararon los resultados obtenidos. El secado solar realizado en Paysandú tuvo una duración de 95 días y se logró un contenido de humedad medio (CHM) final en base seca de 10,5 %. El secado solar realizado en Montevideo duró 80 días y se llegó a un CHM final de 10,5 %. El secado a la intemperie realizado también en Montevideo tuvo lugar a lo largo de 80 días y se obtuvo un CHM final de 22,1 %. Se obtuvieron resultados similares para ambos secados solares, teniendo en cuenta las diferencias de diseño, de ubicación y de capacidad. Comparando los secados solares con el secado a la intemperie, los primeros llevaron la madera de verde (CHM de 105 % aprox.) hasta un CHM de 22 % en la mitad de tiempo. Según los resultados obtenidos, es posible reemplazar el secado a la intemperie por un secado solar y lograr así acortar los tiempos de secado a un bajo costo.

Palabras clave: Secado solar, secado a la intemperie, madera

Abstract

In the following report, the results of three drying runs made during winter with boards of *Eucalyptus grandis* 27 mm thick are shown. Two of them took place in solar kilns, semi-greenhouse type (located in Montevideo and Paysandú), and the third took place outdoors (located in Montevideo).

The relative humidity and temperature conditions of the three drying runs were registered and the results obtained were compared. The solar drying in Paysandú lasted 95 days, and achieved a final average moisture content (AMC) of 10,5 % in dry basis. The other solar drying which took place in Montevideo lasted 80 days and achieved a final AMC of 10,5 %. The outdoors drying process lasted 80 days in Montevideo and achieved a final AMC of 22,1 %.

Similar results were obtained for both solar drying processes, taking into consideration the differences in design, location and capacity. Comparing the solar drying with the ambient air drying process, drying time from green condition to 22 % AMC in solar kilns was half time of outdoors drying. According to this result, it is possible to replace the outdoors drying process by a solar drying and thus shorten the drying time at a low cost.

Key words: Solar drying, outdoors drying, wood.

Introducción

La siguiente nota técnica forma parte de una serie de trabajos de investigación del Departamento de Proyectos Forestales del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) que toman en consideración la importancia que tiene actualmente el uso de energías alternativas en procesos industriales como el secado solar de maderas.

La finalidad de este trabajo fue desarrollar tres experiencias de secado en paralelo para estudiar la adecuación y la optimización de programas de secado en hornos solares. Asimismo se buscó generar algunos conocimientos que permitieran implementar apropiadamente dicha tecnología.

Los objetivos propuestos para este trabajo fueron determinar curvas de secado, contenido de humedad (CH) final alcanzado, tiempo requerido y calidad del producto seco (contracción y distribución de CH dentro de las tablas).

Para poder cumplir con los objetivos propuestos se utilizaron dos secaderos solares ubicados respectivamente en la zona norte y sur del país y una estiba que se secó por secado natural a la intemperie.

Materiales y Métodos

La madera provino de rodales de la zona de Piedras Coloradas, de árboles correspondientes a un primer raleo de 12 años de edad promedio. Las tablas utilizadas para este trabajo fueron de *E. grandis* de plantaciones de Forestal Caja Bancaria y presentaron un peso específico básico promedio de 0,46 g/cm³.

Se relevó el ancho, espesor, largo y peso de las tablas verdes y luego de secadas. Las dimensiones iniciales de las tablas utilizadas por el LATU para los dos secados (solar e intemperie) fueron de 105 mm x 27 mm x 215 cm. Las dimensiones iniciales de las tablas utilizadas

por FCB fueron: la mitad de las tablas 142 mm x 27 mm x 215 cm; la otra mitad 107 mm x 27 mm x 215 cm.

También se evaluó el gradiente de humedad interna de las tablas secadas al finalizar el secado. Para esto se tomaron probetas de las tablas y se determinó el CH en cinco posiciones.

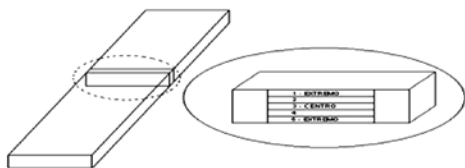


Figura 1. Croquis de probetas de gradiente de humedad (corte transversal).

- Ventiladores: dos al frente, con dos extractores en la parte superior.
- Piso: losa de hormigón 58,7 m² y 30 cm de alto.
- Capacidad: 8 m³ de madera.
- Área de colector por volumen de capacidad: 6,25 m²/m³

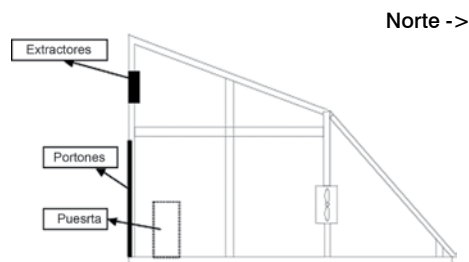


Figura 2. Secador solar de FCB (vista lateral).

Metodología de trabajo en Forestal Caja Bancaria

Dentro del horno se colocaron un total de ocho paquetes de tablas, con un volumen de aproximadamente 1 m³ cada uno:

Cuatro paquetes tenían tablas de dimensiones 142 mm x 27 mm x 215 cm. Cuatro paquetes tenían tablas de dimensiones 107 mm x 27 mm x 215 cm.

Las estibas se construyeron con separadores de 25 mm espaciados entre sí a 40 cm (cinco separadores por fila). Sobre los paquetes no se colocó peso, aunque algunos paquetes sí lo tuvieron, debido a que se colocó otro paquete sobre ellos.

Se tomaron tres muestras (testigos) para evaluar la evolución del contenido de humedad de la madera durante el secado. De cada muestra se extrajeron dos probetas para obtener el contenido de humedad inicial de cada testigo.

Se colocó un registrador de humedad y temperatura (TANDD thermo Recorder TR 72 S) para tener registro de las condiciones del aire dentro del horno solar.

El seguimiento del contenido de humedad media de los testigos se realizó semanalmente por pesadas y estuvo a cargo del personal de Forestal Caja Bancaria. También se realizaron medidas de contracción en distintas etapas de la experiencia.

Una vez finalizado el secado se extrajeron tablas para determinar la distribución del CH final.

Características del secador solar de Forestal Caja Bancaria

Ubicación: Piedras Coloradas, departamento de Paysandú, cubierta transparente inclinada orientada hacia al Norte. Latitud 32° 20' 57" S, longitud 58° 02' 13" W, altitud 61.00 m s.n.m.

- Secador tipo semi-invernadero, aislación de espuma de poliestireno expandido (Espumaplast) entre tablas de madera de pino tratadas con CCA.
- Techo de poliéster reforzado con fibra de vidrio con superficie total 50 m²: 28 m² con una inclinación de 50°, y 22 m² con una inclinación de 20°.
- Colector solar tipo plato (chapas de OSB negro). Los colectores son móviles. Los colectores superiores se colocan apoyados sobre la pila de madera. Las paredes internas del horno se encuentran pintadas de negro (actuando como colectores).
- Ventiladores: dos de 1/2 HP cada uno (50 cm de diámetro) con variadores de velocidad.



Figura 3. Secador solar de Forestal Caja Bancaria.

Metodología de trabajo en el LATU

Con las tablas a secar se armaron dos estibas, una para su secado en el horno solar y otra para secado natural a la intemperie, protegida solo por una chapa en la parte superior.

Las estibas se construyeron con separadores de 28 mm x 28 mm colocados cada 40 cm (cinco separadores por fila). Sobre cada una de ellas se colocó un peso de 700 kg a razón de 350 Kg/m².

De ambas estibas se extrajeron ocho muestras (cuatro para la estiba del horno solar y cuatro para la estiba de secado a la intemperie) para el monitoreo del CHM durante el secado. Para la obtención del CHM de las muestras se hizo el mismo procedimiento que en FCB.

Se colocó un registrador (TANDD thermo Recorder TR 72 S) de humedad y temperatura en el horno solar y otro en la estiba a la intemperie para evaluar ambas condiciones del aire de secado.

El seguimiento del CHM de los testigos se realizó por pesadas semanales por parte del LATU. También se realizaron medidas de contracción en distintas etapas de la experiencia.

Una vez finalizado el secado se extrajeron tablas para estudiar la distribución del CH final.

Características del secador solar del LATU

- Ubicación: departamento de Montevideo, latitud 34° 54' 43" S, longitud 56° 04' 28" W, altitud 26.7 m s.n.m.
- Horno tipo semi-invernadero con aislación de poliestireno expandido entre tableros de contrachapados fenólicos.
- Techo de policarbonato 24 m², inclinación 36°.

- Colector solar tipo plato y tipo caja, de contrachapado fenólico pintado de negro.
- Ventiladores: dos de 1/2 HP cada uno (60 cm de diámetro) con variadores de velocidad.
- Ventiladores: dos al frente del horno.
- Piso: losa de hormigón 25 m² y 15 cm de alto.
- Capacidad: 2,5 m³ de madera.
- Área de colector por volumen de capacidad: 9,6 m²/m³

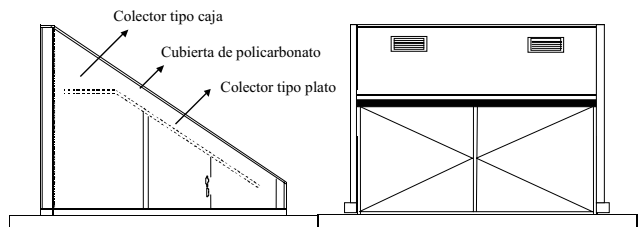


Figura 4. Esquema de horno solar del LATU.



Figura 5. Secador solar de LATU con carga de *E. grandis*.

Resumen de los costos de los secadores solares

El costo de construcción por metro cúbico de capacidad del secador solar de FCB fue 600 USD/m³ aproximadamente, para 8 m³. Para el horno solar del LATU fue de 2.086 USD/m³, para una capacidad de 2,5 m³. Es importante resaltar que fueron construidos con diferentes fines. Si bien ambos hornos son a escala piloto, el horno de FCB se acerca más a lo que sería un horno a escala industrial, mientras que el horno solar del LATU se construyó con fines de investigación.

Resultados

SECADO SOLAR DE *E. grandis* EN FORESTAL CAJA BANCARIA

Monitoreo de temperatura y de humedad relativa

El Gráfico 1 resume las condiciones del aire dentro del horno solar durante el secado. La temperatura máxima registrada fue de 45,9 °C y el mínimo porcentaje de humedad relativa (HR) fue de 22 %.

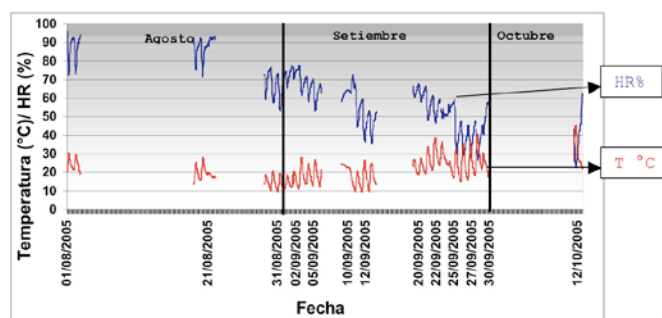


Gráfico 1. Condiciones de temperatura y humedad relativa del aire dentro del horno solar.

Contenido de humedad de equilibrio de la madera durante el período de secado

Los datos registrados muestran la tendencia a la disminución del CHE de la madera dentro del secador a medida que avanza el secado (Gráfico 2).

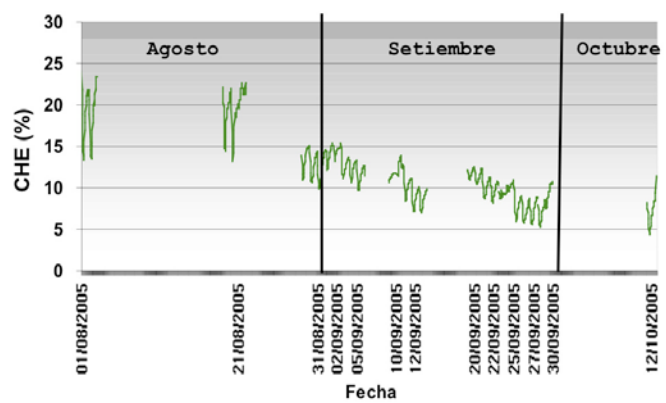


Gráfico 2. Contenido de humedad de equilibrio dentro de la madera del horno solar.

El valor mínimo registrado para el CHE fue de 4,3 %.

Evolución del contenido de humedad medio de la madera

El secado llevó un período de 95 días y se llegó a un CHM final de 10,5 % en base seca (Tabla 1).

	CHM inicial	CHM final
Promedio (%)	103	10,5
Desviación Estándar	17,6	0,8
C.V. (%)	17	8

Tabla 1. Contenido de humedad de la madera.

El promedio de CHM llegó a 12 % en 78 días.

En el Gráfico 3 se puede observar la evolución del secado, donde se puede notar no solo la disminución del CHM, sino también la disminución de la variabilidad entre tablas.

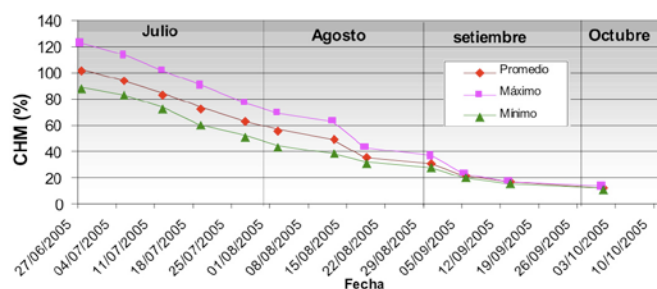


Gráfico 3. Curva de secado en horno solar FCB.

Variaciones del contenido de humedad en el interior de la madera

En el Gráfico 4 se describe la distribución de la humedad interna para distintas posiciones en el interior de la tabla de madera. Se hicieron determinaciones en cinco tablas distribuidas en el ancho de la estiba. Excepto la muestra que se encontró con valores de CHM superior al 12 %, la variación del CHM entre el centro de la tabla y sus extremos fue aceptable y está dentro de 1,3 % de variación.

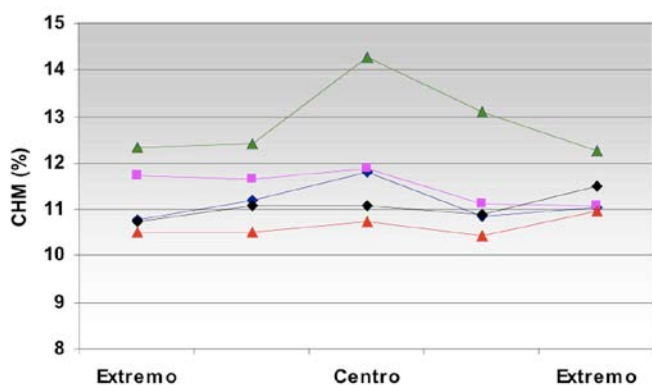


Gráfico 4. Variación de la humedad interna para distintas posiciones en el interior de cinco tablas.

Contracción volumétrica de las tablas

En la Tabla 2 se resume la contracción volumétrica que se produjo para una variación del CHM desde un valor inicial de 103 % hasta un CHM final (10,5 %) para seis tablas de 142 mm x 27 mm x 215 cm y para nueve tablas de 107 mm x 28 mm x 215 cm.

	Contracción (%)		
	Ancho	Espesor	Volumétrica
142 mm	7,6	5,2	12,8
107 mm	6,8	3,8	10,6

Tabla 2. Contracción luego del secado.

SECADO SOLAR Y SECADO NATURAL A LA INTEMPERIE DE *E. Grandis* EN EL LATU

Condiciones de humedad relativa ambiente y dentro del horno solar y a la intemperie

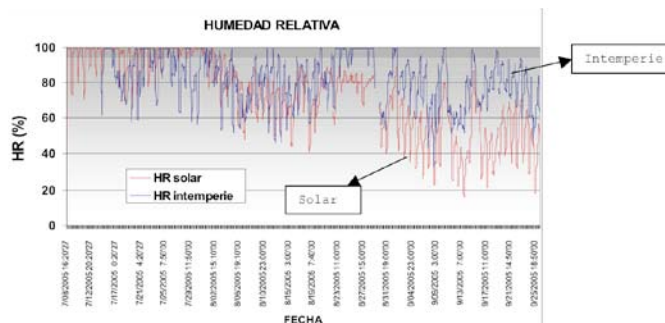


Gráfico 5. % de humedad relativa del aire en el interior del horno solar y a la intemperie.

La humedad relativa del aire dentro del horno no tuvo variaciones bruscas durante las primeras semanas, con valores altos que permitían un secado progresivo. Cuando el contenido de humedad de la madera llegó aproximadamente a 40 %, la humedad relativa del aire dentro del secador comenzó a bajar, llegando a niveles que resultaron en un gradiente que mantiene el potencial de secado.

Condiciones de temperatura del ambiente y dentro del horno solar y la intemperie

La temperatura dentro del horno solar fue en promedio 7,4 °C superior a la temperatura del ambiente exterior (Gráfico 6).

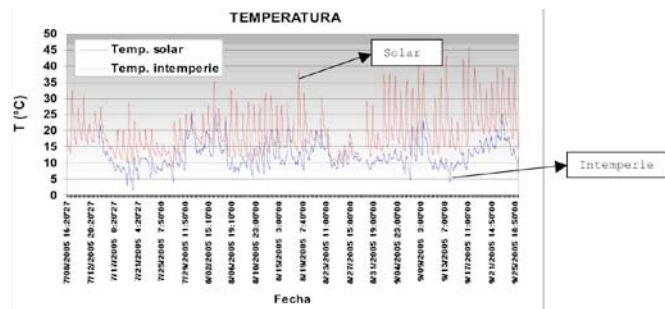


Gráfico 6. Temperatura ambiente y en el interior del horno solar y a la intemperie

Fecha	Temperatura del aire (°C)					
	Julio		Agosto		Setiembre	
	Ambiente	Horno solar	Ambiente	Horno Solar	Ambiente	Horno solar
Promedio	10,8	16,3	12,6	18,4	12,7	23,3
Máxima	25,8	28,7	24,8	38,2	25,4	45,9
Mínima	1,8	8,7	5,5	10,3	4,1	12,1

Tabla 3. Temperaturas promedio, máxima y mínima, del aire en el interior del horno solar y a la intemperie según el mes del año.

Contenido de humedad de equilibrio de la madera durante el periodo de secado

El comportamiento del CHE de la madera fue similar al de la humedad relativa del aire en el exterior (Gráfico 7).

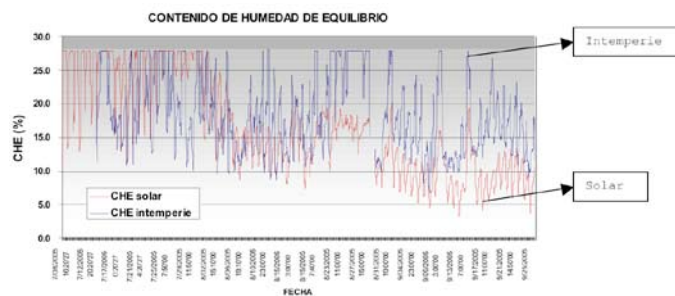


Gráfico 7. Contenido de humedad de equilibrio de la madera en el interior del horno solar y a la intemperie.

Fecha	Contenido de humedad de equilibrio de la madera (%)					
	Julio		Agosto		Setiembre	
	Ambiente	Horno Solar	Ambiente	Horno Solar	Ambiente	Horno Solar
Promedio	21,1	25,8	18,9	15,4	16,2	9,7
Máxima	28	28	28	27,8	28	20,2
Mínima	10,1	11,1	8,6	7,4	6,6	3,3

Tabla 4. Contenido de humedad de equilibrio promedio, máximo y mínimo, de la madera según el mes del año.

Evolución del contenido de humedad medio de la madera

El secado de *E. grandis* fue llevado a cabo en 80 días, como se muestra en el Gráfico 8. Se partió de la madera verde con un contenido de humedad medio de 107 % y se secó hasta 10,5 % en base seca (Tabla 5).

Contenidos de humedad inicial y final de la madera en el secado solar

	CHM inicial	CHM final
Promedio (%)	107,3	10,5
Desviación Estándar	18,5	0,3
C.V. (%)	17,2	2,7

Tabla 5. Contenido de humedad medio de la madera del secado solar.

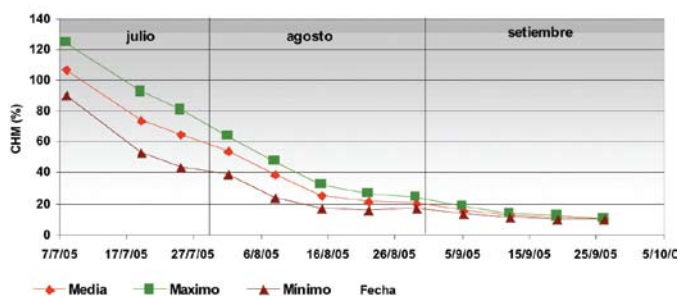


Gráfico 8. Curva de secado solar de tablas en el horno solar del LATU.

Variaciones del contenido de humedad en el interior de la madera

El Gráfico 9 describe la distribución del gradiente de humedad interna para las cuatro tablas testigo.

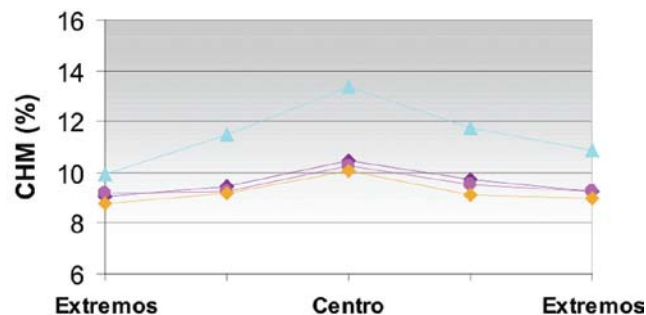


Gráfico 9: Variación de la humedad interna para distintas posiciones en el interior de las tablas testigo.

Excepto una tabla que se encontró con valores de CHM superior al 12 %, las restantes presentaron gradientes aceptables entre el centro y sus extremos, dentro del 1 % de variación.

Contracción volumétrica de las tablas

La contracción volumétrica que se produjo durante el secado desde la condición verde (CHM 103 %) hasta un CHM de 11 % se detalla en el Tabla 6.

	Contracción (%)		
	Ancho	Espesor	Volumétrica
Promedio (%)	6,4	4,7	11,1

Tabla 6. Contracción volumétrica de tablas.

Contenidos de humedad media inicial y final de la madera del secado a la intemperie

El secado a la intemperie se inició y finalizó al mismo tiempo que el secado solar. El período de secado fue de 80 días, llegando a un CHM final de 22,1 % (Tabla 7).

	CHM inicial	CHM final
Promedio (%)	105,4	22,1
Desviación estándar	18,2	2,9
C.V. (%)	17,3	13,3

Tabla 7. Contenido de humedad de la madera estibada a la intemperie.

Comparación de secado solar y secado a la intemperie en el LATU

Como se observa en el Gráfico 10, a partir de un CHM de 60 % se comienza a ver una ventaja del secado solar respecto al secado a la intemperie. El secado solar permite alcanzar un CHM en la madera que es la mitad del CHM que se logra en el secado a la intemperie para un mismo período de 80 días de secado.

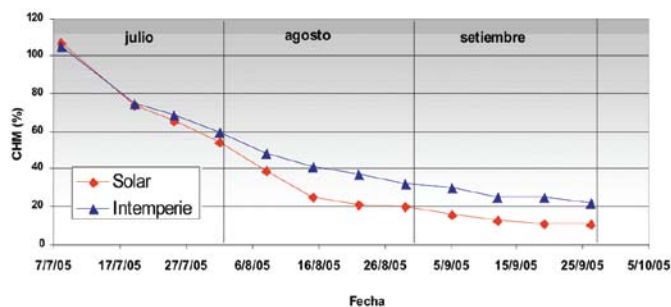


Gráfico 10. Curvas del secado por secado solar y por secado natural a la intemperie para tablas de *E. grandis* en el LATU.

Resultados de secado solar en hornos de FCB y LATU

En el horno solar del LATU se obtuvo un secado un poco más rápido que el del horno de FCB. Se deben tomar en cuenta las diferencias en diseño, capacidad y ubicación geográfica de ambos hornos (Gráfico 11). El horno solar del LATU tiene casi un 50 % más de superficie colectora por m³ de capacidad con respecto al horno solar de FCB.

En las etapas finales se puede observar que prácticamente no hay diferencias entre el secador del LATU y el de FCB.

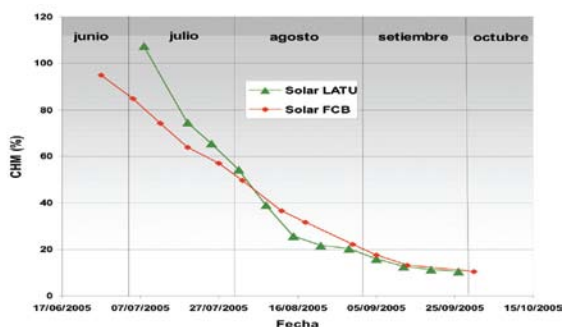


Gráfico 11. Curvas de secado solar en FCB y LATU.

Conclusiones

Se obtuvieron resultados de secado similares para ambos secadores solares, teniendo en cuenta las diferencias en diseño, ubicación y capacidad. Considerando que el secado se desarrolló de julio a setiembre, cuando las condiciones de radiación solar no son las óptimas, el resultado fue bueno, con valores de CHM final por debajo del 12 % en tres meses, partiendo de madera en condición verde (CHM aprox. 105 %).

Dentro del secador solar hay mejores condiciones de secado que a la intemperie. Se logran una mayor velocidad de secado y condiciones controladas que producen menos defectos, como grietas y rajaduras.

Comparado con un secado a la intemperie durante la misma época del año, el secador solar llevó a la madera desde condición verde hasta 22 % de CH en la mitad de tiempo. Por otra parte, un secado a la intemperie no permite lograr un CHM de madera por debajo del CHE dado por las condiciones de intemperie (14-18 %).

En base a los resultados obtenidos el secado solar, se presenta como una alternativa con mejores resultados que el secado natural a la intemperie. Los secadores solares para madera resultan una tecnología posible: su construcción tiene costos razonables (aproximadamente 600 USD/m³) que incluso pueden abarataarse con materiales disponibles en el aserradero, y costos de operación y mantenimiento mínimos (el costo de operación se limita a la alimentación eléctrica de los forzadores).

El secado solar es una alternativa que puede reemplazar el secado a la intemperie que se lleva a cabo antes del secado convencional en la estación estudiada (invierno).

Se podría utilizar la combinación de secado solar /secado convencional, logrando así menores tiempos de secado que los requeridos por la combinación de secado intemperie /secado convencional.

Reconocimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Forestal Caja Bancaria, en especial, a las siguientes personas: Ing. Horacio Arévalo, Ing. Waldemar Annunziatto e Ing. Carlos Sarazola, quienes hicieron posible este trabajo.

Referencias

- ONO, Andrés. *Secado solar de eucalyptus camaldulensis de 40 mm de espesor*. Montevideo: LATU, 2006. (Nota Técnica; 7)
- ONO, Andrés; PÉREZ DEL CASTILLO, Álvaro; OHTA, Sadaaki. *Diferentes etapas del proceso de secado*. Montevideo: LATU, 2003. (Nota Técnica; 1)
- ONO, Andrés; VENTURINO, Alejandro. *Secado solar de eucalypto colorado de 40 mm de espesor*. Montevideo: LATU, 2006. (Nota Técnica; 6)
- ONO, Andrés; VENTURINO, Alejandro. *Secado solar para madera: condiciones operativas*. Montevideo: LATU, 2005. (Nota Técnica; 5)
- PÉREZ FAVARO, Álvaro; SAVER LEITE, Cyntya. *Secado solar de tablas de eucalyptus y pinos*. Montevideo: Facultad de Agronomía, 1999.

Evaluación de la resistencia al cizallamiento por compresión y falla en madera de uniones encoladas en maderas nacionales e importadas

⁽¹⁾ Quagliotti, S.

Contacto: squaglio@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Proyectos Forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 8/9/2008 - Aprobado: 29/11/2008

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados de la evaluación de la resistencia al cizallamiento por compresión y falla en madera de uniones encoladas en *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, *Pinus eliottii*, lapacho y cedro.

El procedimiento se basó en las siguientes normas: ASTM D 5751-99, JIS K 6852-1994 y EN 205:1991. Las etapas más relevantes fueron las siguientes: encolado y corte de probetas, tratamientos de inmersión en agua a 30 °C, 60 °C, 100 °C y ensayo en máquina universal.

Se determinó la resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo y porcentaje de falla en madera.

Es posible concluir que el PVA no es un adhesivo para ser utilizado en ambientes de alta humedad, debido a los bajos valores de resistencia y porcentaje de falla comparados con los valores en seco, como se muestra en las especies estudiadas luego de ser sometidas a los diferentes tratamientos.

Cabe resaltar que, una vez realizados los tratamientos de inmersión, las probetas encoladas con isocianato de *E. grandis* tienen los valores de retención del poder adhesivo más altos, como también menor disminución del porcentaje de falla en madera en comparación con las otras especies estudiadas.

Palabras clave: resistencia al cizallamiento, compresión, falla en madera, PVA, isocianato.

Abstract

The results of the shear strength (by compression) and wood failure of bond unions in *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, *Pinus eliottii*, *Tabebuia ipe* y *Cedrela spp* are shown in the present work.

The process was based on the following standards: ASTM D 5751-99, JIS K 6852-1994 y EN 205:1991. The most relevant stages were bonding and the cutting of samples, water immersion treatment (30, 60, 100 °C) and universal machine test.

Shear strength, Ratio wet/dry shear and Wood Failure percentage were determined.

As a conclusion, the PVA is not an adhesive to be used under high humidity conditions, due to the low values of shear strength and percentage of wood failure that the study species shown after water immersion treatment compared with the values under dry conditions.

Another relevant conclusion is that the samples of *E. grandis* bonded with isocyanate shown the highest values of the Ratio wet/dry shear after water immersion treatments, as well as a lower fall in the percentage of wood failure, compared with the other species under study.

Key Words: shear strength, compression, wood failure, PVA, isocyanate.

Introducción

La presente nota técnica es el complemento de la nota técnica N° 9 (Evaluación de la resistencia a la adhesión y el porcentaje de falla en madera en *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda*, *Pinus eliottii*, *Cedrela spp* y *Tabebuia Ipe*). Estos estudios se vienen desarrollando dentro del Grupo de Encastres de Madera Sólida (GT6). Dicho grupo está integrado por la Asociación de Industriales de la Madera del Uruguay, la Universidad del Trabajo del Uruguay y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay.

En el trabajo que aquí se presenta se analiza la adhesividad de cinco especies de madera: *E. grandis*, *P. taeda*, *P. eliottii*, cedro y lapacho.

La evaluación se realizó tomando en cuenta la resistencia al cizallamiento por compresión y el porcentaje de falla en madera.

Materiales y Métodos

Los materiales utilizados en el presente trabajo se detallan a continuación:

MADERA

- *Eucalyptus grandis*: se seleccionaron tablas de árboles de 12 años, sin poda y con raleo, provenientes del departamento de Rivera.
- *Pinus taeda*: se seleccionaron tablas de árboles de 24 años, con poda y raleo, provenientes del departamento de Río Negro.
- *Pinus eliottii*: se seleccionaron tablas de árboles de 24 años, con poda y raleo, provenientes del departamento de Río Negro y tablas de árboles de 40 años de trozas basales, sin poda y raleo provenientes del departamento de San José.
- cedro y lapacho: tablas de origen y edad desconocido suministradas por Bomel S.A (ADIMAU).

ADHESIVOS

Emulsión de Polivinil Acetato (PVA)

Adhesivo líquido de naturaleza termoplástica pronto para uso, de color blanco a amarillo, de aplicación directa, prensado a temperatura ambiente. Alta resistencia en condiciones secas y baja resistencia en condiciones de alta humedad y temperatura.

Se utilizó PVA marca TORRENTE. Dicho adhesivo es una dispersión acuosa de Acetato de Polivinilo de alta viscosidad (120-200 ps), pH de 6 – 7, el coloide protector es alcohol polivinílico, tamaño de partícula de 0,5 a 3 micrones. Se utilizaron dos emulsiones con diferente contenido no volátil de 49 % (PVA A) y 44 % (PVA B).

Emulsión polímero – Isocianato

Adhesivo de dos componentes, por un lado una resina que contiene un polímero acuoso y por otro un catalizador de isocianato. La resina y el catalizador deben mezclarse antes de aplicarse y la mezcla presenta un color blanco. Dicho adhesivo tiene alta resistencia a la humedad, al calor y a los solventes.

Se utilizó un Isocianato marca Koyo Bond KR-134, presenta una viscosidad de 100 ps a 25 °C, un contenido de sólidos de 60 % y un pH de 7,5. La relación de mezcla entre resina y catalizador es de 100/15 en peso.

Este estudio se basa en las siguientes normas:

- ASTM D 5751-99 (Adhesives Used for Laminate Joints in Nonstructural Lumber Products).
- JIS K 6852-1994 (Testing methods for shear strength of adhesive bonds by compression loading).
- EN 205:1991. Métodos de ensayo para adhesivos para la madera de uso no estructural.

A continuación se presenta la secuencia de etapas de realización:

• Elaboración de listones para confeccionar probetas

Para cada especie se elaboraron listones a partir de las tablas libres de defectos. Todos los listones poseen una sección transversal de corte radial. Las dimensiones de los mismos son: 300 mm de largo x 45 mm de ancho x 10 mm de espesor.

• Determinación del contenido de humedad de los listones

De cada especie se seleccionaron 10 listones para determinar el contenido de humedad por método de secado en estufa. Primero se pesaron los listones y luego fueron colocados en estufa, secándose a 103 ± 2 °C hasta llegar a peso constante.

Los valores de humedad se indican en la Tabla 1.

Especie	Contenido de humedad (%)
<i>Tabebuia ipe</i> (lapacho)	12,3
<i>Cedrela spp.</i> (cedro)	13,7
<i>P. taeda</i>	9,9
<i>P. elliottii</i>	9,7
<i>E. grandis</i>	10,1

Tabla 1. Contenido de humedad de las tablillas según especie.

• Determinación de la densidad de los listones

A cada uno de los listones se les determinó el largo y el ancho utilizando un calibre digital, y el espesor utilizando un micrómetro digital. Luego se procedió al peso de los mismos, para el posterior cálculo de la densidad. Con los valores obtenidos se ranquearon los listones de menor a mayor valor de densidad, para poder encolar listones de similar densidad.

• Acondicionamiento previo al encolado

Los listones fueron acondicionados en una cámara climatizada a 20 °C y 65 % de humedad relativa (H.R) hasta que alcanzaron el equilibrio luego de dos pesadas consecutivas de los testigos. El contenido de humedad al que llegaron los listones luego de ser acondicionados se muestra en la Tabla 2.

Especie	Contenido de humedad (%)
<i>Tabebuia ipe</i> (lapacho)	11,6
<i>Cedrela spp.</i> (cedro)	13,2
<i>P. taeda</i>	11,4
<i>P. elliottii</i>	10,8
<i>E. grandis</i>	10,5

Tabla 2. Contenido de humedad de los listones acondicionados a 20 °C y 65 % H.R según especie.

• Encolado

Una vez acondicionados, se encolaron pares de listones de similar densidad aplicando una carga de adhesivo de 250-300 g/m². Para el prensado se utilizó una prensa “SHINTO Compression Moulding Machine” (Figura 1) colocando los listones entre los platos de la prensa, y se utilizó una presión de 10 o 12 kgf/cm² dependiendo de la especie. Para *E. grandis* y lapacho se utilizó 12 kgf/cm² y para los dos pinos y el cedro 10 kgf/cm². El fraguado se realizó con las probetas sujetas a las prensas durante 24 horas, a temperatura y humedad ambiente.



Figura 1. Prensa “SHINTO Compression Moulding Machine”.

• Corte de las probetas

De cada par de listones encolados se obtuvieron 10 probetas escalonadas, como se muestra en la Figura 2. Cada probeta tiene un área de ensayo de 600 mm² aproximadamente.

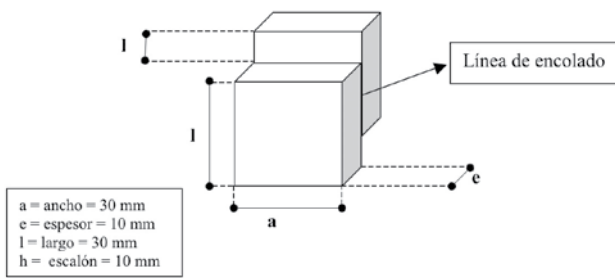


Figura 2. Geometría de las probetas escalonadas.

• **Acondicionamiento de las probetas previo al ensayo de compresión**

Se realizó un acondicionamiento a 20 °C y 65 % de H.R (curado de las probetas) por un período de una semana.

• **Tratamientos realizados**

Los tratamientos a los que fueron sometidas las probetas pretenden crear condiciones de envejecimiento previas a la realización del ensayo. Además, se ensayaron probetas en condiciones secas, y antes de la realización de cada tratamiento se determinó el ancho y espesor de cada una en el área de ensayo.

Tratamiento 1 (Condiciones secas)

En este tratamiento las probetas luego de estar una semana en cámara climatizada a una H.R de 65 % y 20 °C se ensayaron en condiciones secas.

Tratamiento 2 (Inmersión en agua a 30 °C)

Las probetas son sumergidas en agua a 30 °C dentro de un baño termostatzado (Figura 3) con control de temperatura por un período de tres horas. Luego las probetas son colocadas debajo de agua a temperatura ambiente por 10 minutos, y a continuación son ensayadas en condiciones húmedas.

Tratamiento 3 (Inmersión en agua a 60 °C)

Las probetas son sumergidas en agua a 60 °C dentro de un baño termostatzado con control de temperatura por un período de tres horas. Luego las probetas son colocadas en agua a temperatura ambiente por 10 minutos, y a continuación son ensayadas en condiciones húmedas.

Tratamiento 4 (Inmersión en agua a 100 °C)

Las probetas a ensayar en húmedo fueron sometidas a un tratamiento Húmedo-Seco-Húmedo, detallado a continuación:

Colocación de probetas en baño de agua a 100 °C durante cuatro horas.

Secado en estufa a 60 °C durante 20 horas.

Colocar probetas en agua fría por una hora.

Colocar probetas en baño de agua a 100 °C durante cuatro horas.

Este tratamiento solamente fue realizado en las probetas encoladas con Isocianato, debido a la agresividad del procedimiento. Para dicho tratamiento se utilizó un baño termostatzado con control de temperatura y una estufa de secado con circulación forzada.



Figura 3. Baño termostatzado con control de temperatura.

• **Ensayo**

Se realizó en una máquina universal de ensayos dentro de una cámara climatizada a 20 °C y 65 % de humedad relativa, como se muestra en la Figura 4. Se aplicó compresión paralela a la unión encolada, con una velocidad de aplicación de 10 mm/minuto en todos los casos.

Se registró la carga máxima aplicada en Newton y se calculó la resistencia de la unión encolada como el esfuerzo unitario máximo, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia al cizallamiento por compresión (N/mm}^2\text{)} = \text{Carga máxima aplicada (N)} / \text{Área de ensayo (mm}^2\text{)}$$

Cabe aclarar que N/mm² es igual a Megapascal (MPa).

Luego del ensayo se determinó mediante una inspección visual el porcentaje de falla en madera de cada probeta. Éste corresponde al cociente entre el área de ensayo donde se produjo la rotura en la madera y el área de ensayo de la probeta.



Figura 4. Máquina universal.

También se determinó la retención del poder adhesivo para los tres adhesivos, entendiéndose como tal el porcentaje entre los promedios de la resistencia al cizallamiento obtenido en las condiciones húmeda y seca respectivamente, o sea:

$$\text{Retención del poder adhesivo (\%)} = \text{H/S} * 100$$

Donde:

H = Promedio de la resistencia al cizallamiento según tratamiento húmedo

S = Promedio de la resistencia al cizallamiento en condiciones secas

Resultados

Resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo y porcentaje de falla en madera

En las siguientes tablas y gráficos se muestran los resultados obtenidos para cada especie, adhesivo y condición de ensayo. Para cada tratamiento se ensayaron 10 probetas por especie.

PVA 49 % de sólidos

En las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados de resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo y el porcentaje de falla en madera para las probetas encoladas con PVA (mayor carga de sólidos) según tratamiento. Cabe aclarar que no fueron ensayadas probetas de cedro y lapacho, debido a que no se pudo conseguir madera suficiente de estas dos especies para poder confeccionar probetas.

Tratamiento	Resistencia al cizallamiento por compresión (MPa) y Retención poder adhesivo (%)					
	<i>E. grandis</i>		<i>P. taeda</i>		<i>P. elliottii</i>	
	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)
Tratamiento 1. Condiciones secas	X	10,5	X	11,6	X	10,0
	S	0,54	S	1,22	S	1,0
Tratamiento 2. Inmersión agua 30 °C	X	4,1	X	0,8	X	0,3
	S	0,34	S	0,32	S	0,12
Tratamiento 3. Inmersión en agua 60 °C	X	2,0	X	0,2	X	0,1
	S	0,65	S	0,07	S	0,08

Tabla 3. Resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con PVA A (49 % sólidos).

Tratamiento	Falla en Madera (%)		
	<i>E. grandis</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. elliottii</i>
Tratamiento 1. Condiciones secas	87	64	66
Tratamiento 2. Inmersión en agua 30 °C	12	0	0
Tratamiento 3. Inmersión en agua 60 °C.	1	0	4

Tabla 4. Falla en madera para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con PVA A (49 % sólidos).

Los datos de las Tablas 3 y 4 se representan gráficamente en los Gráficos 1 y 2.

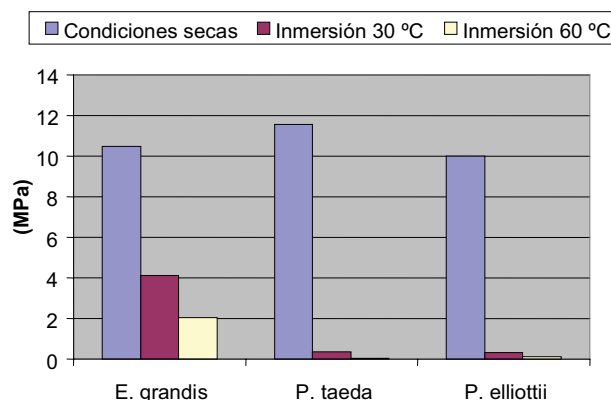


Gráfico 1. Resistencia al cizallamiento por compresión según tratamiento para probetas encoladas con PVA 49 % de sólidos.

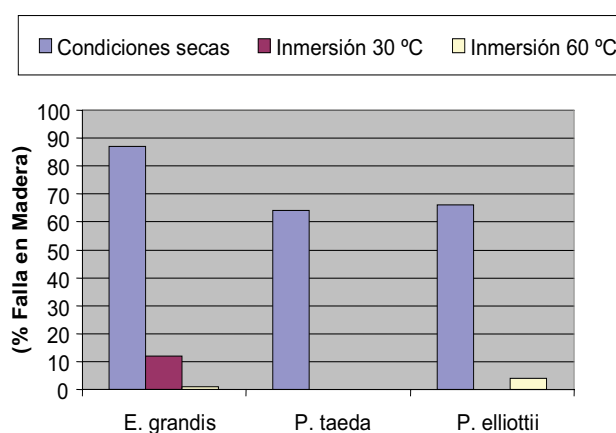


Gráfico 2. Falla en madera según tratamiento para probetas encoladas con PVA 49 % de sólidos.

Se observa que los valores de resistencia en condiciones secas son similares para las tres especies estudiadas, sin embargo *E. grandis* presenta valores superiores de porcentaje de falla en madera (87 %) comparado con los pinos (64 % y 66 %).

Como era esperado, luego de los tratamientos en inmersión en agua a 30 °C y 60 °C los valores de resistencia y falla en madera disminuyen en todos los casos. Para ambos tipos de pino, luego de los tratamientos los valores están cercanos a cero, tanto para la resistencia como para la falla en madera.

Asimismo, la retención del poder adhesivo es baja para las tres especies y resulta mínima en las dos especies de pinos donde es menor al 10 % después de los dos tratamientos. Esto se debe a que el PVA, adhesivo hidrosoluble, es poco resistente a condiciones de alta humedad.

PVA 44 % de Sólidos

En las Tablas 5 y 6 se presentan los resultados de resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo y porcentaje de falla en madera para las probetas encoladas con PVA (menor carga de sólidos) según tratamiento.

Para *E. grandis*, *P. taeda* y *P. elliottii*, luego de los tratamientos de inmersión en agua la resistencia disminuye considerablemente en todas las especies, no registrándose valores de resistencia para *P. taeda* luego de la inmersión a 30 °C y para *P. elliottii* luego de ambos tratamientos.

El porcentaje de falla en madera desciende en las cinco especies después de los tratamientos, registrándose valores menores al 5 % de falla en todas ellas.

Tratamiento	Resistencia al cizallamiento por compresión (MPa) y retención poder adhesivo (%)														
	<i>E. grandis</i>		<i>Cedrela spp</i> (cedro)		<i>Tabebuia ipe</i> (lapacho)		<i>P. taeda</i>		<i>P. elliotii</i>						
	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)					
Tratamiento 1. Condiciones secas	X	9,6	---	X	9,2	---	X	8,2	---	X	11,3	---	X	8,7	---
	S	0,92		S	1,4		S	1,7		S	1,93		S	1,1	
Tratamiento 2. Inmersión en agua 30 °C	X	3,7	39	X	2,1	23	X	0,6	7	X	0,4	4	X	0,1	1
	S	0,91		S	0,93		S	0,34		S	0,17		S	0,11	
Tratamiento 3. Inmersión en agua 60 °C	X	1,0	10	X	0,9	10	X	0,2	2	X	0,0	0	X	0	0
	S	0,71		S	0,51		S	0,21		S	0,0		S	0	

Tabla 5. Resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con PVA B (44 % sólidos).

Tratamiento	Falla en madera (%)				
	<i>E. grandis</i>	<i>Cedrela spp</i> (Cedro)	<i>Tabebuia ipe</i> (Lapacho)	<i>P. taeda</i>	<i>P. elliotii</i>
Tratamiento 1. Condiciones secas	78	82	29	47	42
Tratamiento 2. Inmersión en agua 30 °C	4	4	4	0	1
Tratamiento 3. Inmersión en agua 60 °C	4	5	3	0	0

Tabla 6. Falla en madera para cada especie y tratamiento, utilizando probetas encoladas con PVA B (44 % sólidos).

Los datos de las Tablas 5 y 6 se representan gráficamente en los Gráficos 3 y 4.

Al comparar los resultados en condiciones secas, se observa que *P. taeda* presenta los valores más altos de resistencia con 11,3 MPa y que las demás especies presentan valores dentro de un rango de 8 a 10 MPa.

La diferencia mayor se encuentra en el porcentaje de falla en madera, donde *E. grandis* y cedro presentan valores cercanos al 80 %, en comparación con las otras tres especies que no superan el 50 % de falla.

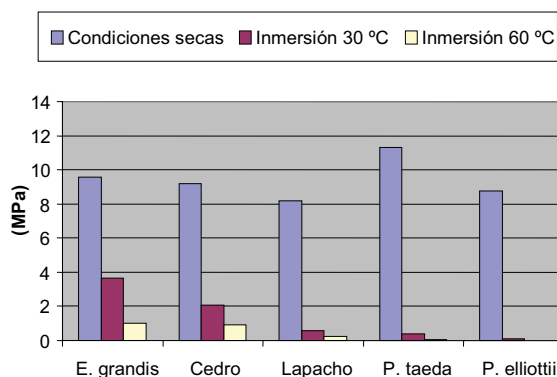


Gráfico 3. Resistencia al cizallamiento por compresión según tratamiento para probetas encoladas con PVA 44 % sólidos

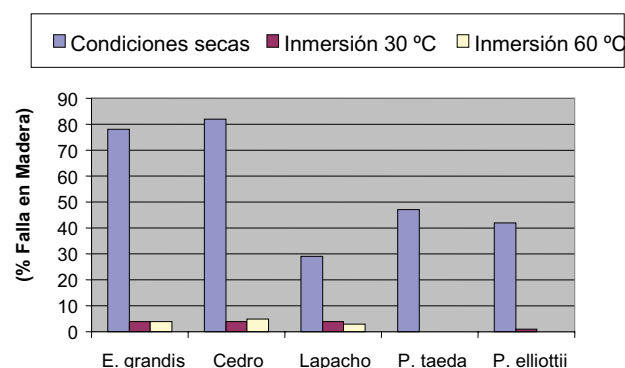


Gráfico 4. Falla en madera según tratamiento para probetas encoladas con PVA 44 % sólidos

En relación a la retención del poder adhesivo se produce un comportamiento similar que con el PVA de mayor carga de sólidos. Esto se debe a que al absorber la madera y el adhesivo humedad del ambiente, cambian las características de la unión encolada y, por tanto, cuanto más severo es el tratamiento menor es la retención del poder adhesivo.

Esto se explica porque algunas de las principales causas del descolado de adhesivos de Acetato de Polivinilo (PVA) son el ambiente excesivamente húmedo y la falta de resistencia al agua o a la humedad del adhesivo.

Comparando las probetas encoladas con ambos tipos de PVA y ensayadas en condiciones secas, se observa que a mayor carga de sólidos los valores de resistencia al cizallamiento y porcentaje de falla en madera son mayores.

Esto resulta más notorio en el porcentaje de falla que en la resistencia, y es aún más evidente la diferencia para las probetas de los dos tipos de pino, donde las encoladas con el PVA de mayor carga de sólidos tienen un valor de falla en madera promedio de 65 %, y las encoladas con el PVA de menor carga de sólidos, de 45 %. Esto se puede ver conjuntamente en las Tablas 3, 4, 5 y 6.

Isocianato

En las Tablas 7 y 8 se observan los resultados de la resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo y el porcentaje de falla en madera para las distintas especies y tratamientos utilizando probetas encoladas con isocianato.

Se observa claramente que las probetas de lapacho presentan los valores más altos de resistencia, salvo para el tratamiento de inmersión

Tratamiento	Resistencia al cizallamiento por compresión (MPa) y retención poder adhesivo (%)														
	<i>E. grandis</i>		<i>Cedrela spp</i> (cedro)		<i>Tabebuia ipe</i> (lapacho)		<i>P. taeda</i>		<i>P. elliottii</i>						
	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)	MPa	H/S (%)					
Tratamiento 1. Condiciones secas	X	10,1	----	X	12,1	----	X	17,9	----	X	12,1	----	X	9,5	----
	S	1,1		S	1,5		S	3,3		S	1,1		S	2,2	
Tratamiento 2. Inmersión agua 30 °C	X	5,8	91	X	9,0	74	X	14,8	83	X	5,7	47	X	4,3	45
	S	0,58		S	2,0		S	2,7		S	0,58		S	1,0	
Tratamiento 3. Inmersión en agua 60 °C	X	4,9	68	X	6,0	50	X	9,8	55	X	4,9	40	X	4,1	43
	S	0,55		S	1,7		S	4,1		S	0,55		S	0,64	
Tratamiento 4. Inmersión en agua a 100 °C	X	4,3	72	X	2,8	23	X	4,6	26	X	4,3	36	X	3,3	35
	S	1,5		S	1,3		S	2,4		S	1,5		S	1,5	

Tabla 7. Resistencia al cizallamiento por compresión, retención del poder adhesivo para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con Isocianato.

en agua a 100 °C, aunque es la especie que presenta valores de falla en madera más bajos luego de todos los tratamientos. Los elevados valores de resistencia están dados por la alta densidad que presenta el lapacho y no por una unión encolada resistente, lo cual se explica por el bajo porcentaje de falla en madera. El mismo se debe a que en especies más densas existe menor volumen de espacio libre que permita la entrada del adhesivo, no facilitando una buena adhesión mecánica.

Tratamiento	Falla en madera (%)				
	<i>E. grandis</i>	<i>Cedrela spp</i> (cedro)	<i>Tabebuia ipe</i> (lapacho)	<i>P. taeda</i>	<i>P. elliottii</i>
Tratamiento 1. Condiciones secas.	85	89	46	76	78
Tratamiento 2. Inmersión agua 30 °C.	85	59	26	76	43
Tratamiento 3. Inmersión en agua 60 °C.	85	53	32	74	55
Tratamiento 4. Inmersión en agua 100 °C.	74	17	13	49	25

Tabla 8. Falla en madera para cada especie y tratamiento utilizando probetas encoladas con Isocianato.

Los datos de las Tablas 7 y 8 se representan gráficamente en los Gráficos 5 y 6.

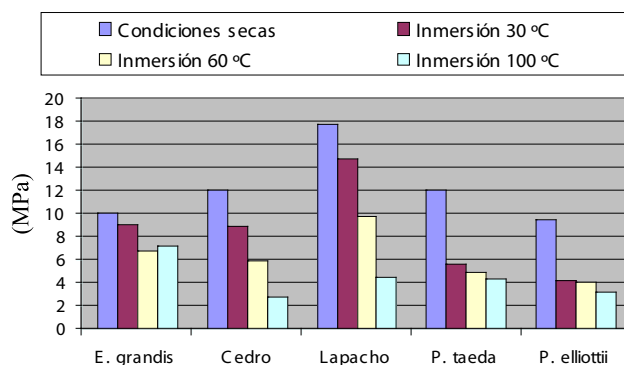


Gráfico 5. Resistencia al cizallamiento por compresión según tratamiento para probetas encoladas con Isocianato.

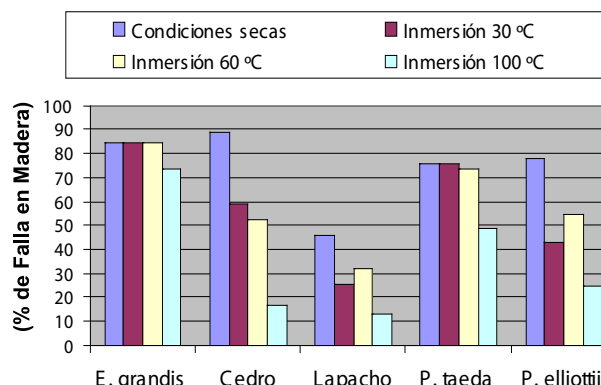


Gráfico 6. Falla en madera según tratamiento para probetas encoladas con Isocianato.

Efectuada la comparación de probetas de *E. grandis*, cedro, *P. taeda* y *P. Elliottii*, las de cedro son las que presentan los valores más altos de resistencia y porcentaje de falla, 12,1 MPa y 89 %, respectivamente. El lapacho no fue considerado en esta comparación ya que sus valores de resistencia están dados en mayor medida por la densidad de la especie que por la unión encolada en sí.

E. grandis es la especie que presenta los mayores resultados

de falla en madera luego de los tratamientos de inmersión en agua. Mantiene el mismo valor de 85 % de falla luego de las inmersiones en agua a 30 °C y 60 °C, para descender a un valor de 74 % luego del tratamiento de inmersión a 100 °C. La retención del poder adhesivo es la más alta de todas las especies estudiadas luego de los tratamientos.

Este resultado describe una especie que presenta una buena unión encolada, con alta resistencia tanto en seco como en condiciones húmedas, y un porcentaje de falla en madera alto en todos los casos, lo que indica una buena penetración del adhesivo para formar una unión fuerte.

Conclusiones

Utilizando PVA como adhesivo en condiciones secas, a mayor carga de sólidos mayor es la resistencia al cizallamiento y mayor es el porcentaje de falla en madera. Es posible visualizar esta relación en las dos especies de pino estudiadas (Tablas 3, 4, 5 y 6 y Gráficos 1 al 4).

PVA no es un adhesivo para ser utilizado en ambientes de alta humedad, observándose un debilitamiento de la unión con respecto al ensayo en condiciones secas en todos los casos, ya que luego de los tratamientos de inmersión en agua los valores obtenidos de resistencia y porcentaje de falla disminuyen.

Las dos especies que presentan mejor adhesividad en condiciones secas usando PVA como adhesivo son *E. grandis* y cedro. Si bien no existen mayores diferencias en los valores de resistencia con respecto a los pinos y al lapacho, presentan un mejor resultado en el porcentaje de falla en madera, lo que implica una mejor unión encolada (Tablas 5 y 6).

Utilizando Isocianato como adhesivo, después de ensayar probetas expuestas a los diferentes tratamientos, se observa en general que a medida que aumenta la rigurosidad de las condiciones del tratamiento, la unión encolada se ve debilitada y tanto la resistencia al cizallamiento como el porcentaje de falla en madera disminuyen para todas las especies estudiadas.

Las dos especies que presentan mejor adhesividad utilizando Isocianato como adhesivo en condiciones secas son *E. grandis* y cedro: ambas presentan los valores más altos de resistencia y falla en madera.

En condiciones húmedas la especie que se comporta mejor es *E. grandis*, dado que las probetas encoladas con Isocianato presentan los valores de retención del poder adhesivo más altos luego de realizar los tratamientos de inmersión, y es la especie en la que, comparativamente, disminuye menos el porcentaje de falla en madera. Se concluye que frente al ataque del agua en los tratamientos, la unión *E. grandis*-Isocianato, es la que se degrada menos, por lo que es posible concluir que se trata de la mejor unión relevada.

Las probetas de *P. taeda* presentan mayor proporción de madera de leño tardío respecto al leño temprano, lo cual hace que su densidad sea más alta. Por ende también presentan valores de resistencia al cizallamiento más altos que lo esperado. Esto se debe a la resistencia de la madera, como en el caso del lapacho, y no por la resistencia de la unión encolada, que presenta valores bajos de porcentaje de falla en madera.

Referencias

- ASTM INTERNATIONAL (United States). D5751: *Adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products*. West Conshohocken: ASTM, 1999.
- BENITES MACIEL, L. *Adhesividad de maderas nacionales. Proyecto de tecnología de ensayo de productos forestales, LATU-JICA (1998-2003)*. Montevideo: LATU, 2003. (Informe de Investigación. Serie Forestales; 12)
- COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN (Bélgica). EN 205: *Métodos de ensayo para adhesivos para la madera de uso no estructural*. Bruselas: CEN, 1991.

- JAPANESE STANDARD ASSOCIATION (Japan). JIS K 6852. *Testing methods for shear strength of adhesive bonds by compression loading*. Tokio: JSA, 1994.
- PÉREZ DEL CASTILLO, A.; BENITES Maciel, L. *Propiedades mecánicas y resistencia de uniones encoladas de vigas laminadas. Proyecto de tecnología de ensayo de productos forestales, LATU-JICA (1998-2003)*. Montevideo: LATU, 2002. (Informe de Investigación. Serie Forestales; 10)
- QUAGLIOTTI ESTRADÉ, S. *Evaluación de la resistencia a la adhesión y el porcentaje de falla en madera en Eucalyptus grandis, Pinus taeda, Pinus elliottii, Cedrela spp y Tabebuia ipe*. Montevideo: LATU, 2007. (Nota Técnica; 9).

Utilización de *Eucalyptus* spp. Alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa Kraft*

Doldán, J. ⁽¹⁾, Fariña, I. ⁽¹⁾, Tarigo, F. ⁽¹⁾

Contacto: jdoldan@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Proyectos Forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 15/9/2008 - Aprobado: 22/12/2008

* Presentado en el V Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, (Guadalajara 20-23 de octubre de 2008). Guadalajara: CIADICYP. 2008.

Resumen

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* han mostrado desiguales tasas de crecimiento en diferentes regiones de Uruguay. Esto ha motivado la búsqueda de otros orígenes de semilla y especies para la producción de pulpa de celulosa. Propiedades papeleras de las pulpas blanqueadas (ECF) de especies alternativas llevan a intuir que podrían ser atractivas para mercados de pulpa de fibra corta. En este trabajo se realiza un comparativo del *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. maidenii* y *E. globulus* (procedencia de semilla "Jeeralang") con el *E. globulus* predominante en Uruguay. Se discute el potencial de estas maderas como base para una mezcla en cocción, basándose en el análisis de propiedades físicas (densidad aparente básica), propiedades pulpables (rendimiento, carga de álcali activo en cocción Kraft y consumo de madera) y propiedades papeleras. En trabajos previos se han encontrado diferencias significativas entre el comportamiento pulpable del *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*, sugiriendo que no sería recomendable mezclar estas especies. La misma conclusión se podría extender a las especies de *Eucalyptus* estudiadas. Sin embargo, teniendo en cuenta los similares requerimientos en las cargas de álcali activo, la mezcla entre especies alternativas podría ser aplicada.

Palabras clave: *Eucalyptus* spp., propiedades papeleras, pulpeo Kraft, rendimiento en cocción, densidad aparente básica.

Abstract

Eucalyptus globulus plantations have shown different growth rates in different sites in Uruguay. This fact has triggered the search for other pulp wood species and seed provenance. Paper making properties of ECF bleached pulps of alternative species suggest that these species could be perfectly used as hardwood bleached pulp raw materials. This study intends to compare alternative Uruguayan pulpwood species *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. maidenii* and "Jeeralang" a seed provenance of *E. globulus* to the *E. globulus* most widely cultivated in the country. Physical properties of wood (Basic Density), Kraft pulping performance (pulp yield, active alkali and wood consumption) and basic papermaking properties were evaluated. Upon these results, they were considered as potential mixed base material for Kraft cooking. In previous research, significant differences were found between *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus maidenii* Kraft pulping behavior and no mixture was recommended. New results indicate a similar performance for each studied *Eucalyptus* species. However, the comparable demand in active alkali charges among them, suggests that mixtures could be successfully employed.

Key words: *Eucalyptus* spp., papermaking properties, Kraft pulping, cooking yield, basic density.

Introducción

Un relevamiento de las áreas forestadas a 2005 (Dirección General Forestal, MGAP, 2005) indica que el género *Eucalyptus* abarca aproximadamente 460.000 ha, un 50 % del total implantado en el territorio uruguayo. El *Eucalyptus globulus*, con 270.000 ha plantadas –de las cuales un 43 % se encuentra en la zona sur del país–, el *Eucalyptus grandis* con 160.000 ha, y otras especies como el *Eucalyptus dunnii* y el *Eucalyptus maidenii* que representan en su conjunto un 8 % del total.

La fase de industrialización de la madera que está teniendo lugar en Uruguay comienza a tener efecto en la balanza comercial, provocando una tasa de crecimiento anual en exportaciones, tomada desde junio de 2004 a junio de 2007 (Rimoldi, 2007), de un total de 35,7 %, con un incremento del 31,5 % en las exportaciones de madera para pulpa. Esto se debe, principalmente desde 2005, a la aparición de plantas chipeadoras de madera que abrieron mercados como España y Japón, manteniendo entre otros a Estados Unidos, Noruega, Finlandia, Suecia y Portugal. De esa manera la madera con destino pulpable se constituye en el 72 % de las exportaciones de madera. Teniendo en cuenta que la exportación de celulosa se incrementará en 1 millón de toneladas anuales producidas por BOTNIA Uruguay y el comienzo previsto de la planta de ENCE (con una producción similar) para 2010, el aporte del sector de la madera para pulpa crecerá sustancialmente.

Dada la coyuntura observada, el género *Eucalyptus* es y será sin dudas impulsor de investigación para encontrar los materiales primarios que más se adecuen a las necesidades de los productos finales. La búsqueda de materiales alternativos dentro de este género se comienza a dar en Uruguay debido a que el *E. globulus* tiene un aceptable crecimiento solamente en la zona sur-este, mientras que en zonas norte y litoral decrece sensiblemente su productividad. A esto se le agrega el problema sanitario, el cual genera pérdidas llegando en ciertos casos a incidencias de enfermedades superiores a un 20 %. Es en ese sentido que el conocimiento de la base forestal alternativa al *E. globulus*, tanto del *E. grandis* y otras especies de menor extensión como el *E. dunnii* y el *E. maidenii*, es reconocido como de vital importancia.

En el caso de la procedencia de *E. globulus* "jeeralang", representa una alternativa muy viable desde el punto de vista forestal, dado que genera incrementos medios anuales (IMA) de crecimiento aproximadamente 40 % mayores a la media (Resquin et al. 2005). Se ha notado puntualmente un buen comportamiento en la resistencia a enfermedades del fuste (Balmelli et al. 2004) como canchales y baja incidencia de *Inocutis jamaicensis* (agente causal de podredumbre blanca), las cuales provocan mermas del tejido afectado y, ocasionalmente, pérdida total por quebrado del árbol antes de llegar a turnos de corte.

El objetivo primario sería obtener especímenes con alta productividad, mediante un rápido y sano crecimiento que genere

madera con alta densidad y un comportamiento pulpable con el mayor rendimiento de producción de celulosa. Para lograrlo será primordial el mejoramiento genético.

En la Tabla 1 se presentan datos obtenidos en proyectos de investigación relacionados a las especies mencionadas (Resquin et al. 2005) acerca de la calidad de las fibras y las propiedades físicas y mecánicas del papel que presentan estos materiales alternativos. Las pulpas se obtuvieron en el mismo laboratorio y en las mismas condiciones que se presentan en este trabajo. Para pulpas blanqueadas con un proceso ECF estandarizado, se encuentra primero y muy notoriamente que el *E. globulus* revela los valores más desarrollados de índice de tracción y desgarró. No obstante, las restantes especies presentan índices de desgarró considerablemente buenos e índices de tracción dentro de los valores comerciales esperados.

Propiedades Papeleras *	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. globulus</i> "jeeralang"	<i>E. maidenii</i>
Grado de blanco (%ISO) **	87,4	90,9	89,3	89,0	90,4
°SR ***	24	25	23	23	25
Nº Rev. ***	1900	2000	2200	2200	2200
Índice de Tracción (N.m/g) ***	75,9	72,8	86,5	74,5	75,7
Índice de Desgarro (mN.m ² /g) ***	9,4	8,9	9,5	9,7	9,1

Tabla 1. Propiedades papeleras para *E. spp.*

*Fuente (Resquin et al. 2005); **Blanqueo ECF: ODo(Ep)D1P; *** Refinamiento PFI

Se han determinado en trabajos anteriores (Doldán, 2007) diferencias significativas en el comportamiento pulpable del *E. globulus* y *E. maidenii*, sugiriendo que no sería recomendable ingresar mezclas de estas dos especies a digestores industriales. En el presente informe se estudian las sinergias e incompatibilidades entre las especies de eucalipto plantadas en el territorio nacional con destino pulpable mediante el estudio de las propiedades físicas y pulpables. Se consideran para esto los siguientes parámetros de calidad: densidad aparente básica, rendimiento pulpable a Kappa 20 por proceso Kraft y consumo de madera para pulpa m³/t celulosa.

Materiales y Métodos

Materiales estudiados: La totalidad de las muestras provienen de plantaciones comerciales donde las edades de corte son, en todos los casos, entre 8 y 10 años.

- *Eucalyptus globulus ssp. globulus* (*E. globulus*)
- *Eucalyptus grandis*
- *Eucalyptus dunnii*
- *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* (*E. maidenii*)
- *Eucalyptus globulus ssp. globulus* con procedencia de semilla Jeeralang (*E. globulus* "jeeralang")

Propiedades físicas de la madera: Densidad aparente básica (Dab) se determina según técnica LATU basada en Normas TAPPI T254 y ASTM 2395. La relación entre la productividad y rendimiento de la madera de *Eucalyptus* depende, entre otras propiedades, de la densidad aparente que esta posea. Por esta razón se prioriza la determinación de dicha propiedad como la más importante, por su influencia directa tanto en el rendimiento real como económico.

Digestión de chips por proceso Kraft: Cocción de chips de madera en digestores batch rotatorios. En este trabajo se han fijado la totalidad de las condiciones de cocción (Tabla 2), siendo variable únicamente el "Porcentaje de Alkali Activo" (%AA). Este último se modifica con el cometido de alcanzar un contenido de lignina residual acorde al índice de Kappa = 20+/-1 en la pulpa resultante de cocción.

Parámetro fijo	COCCIÓN
Alkali Activo AA (g/l NaO ₂)	120+/-10
Sulfidez SZ (%)	25+/-1
Temperatura máxima (°C)	157
Tiempo subida/Tmáx (mín/mín)	30/145
Relación Licor/Madera	3,5
Toma de chips anhidra (gr. o.d.)	200
Porcentaje de Alkali Activo (%AA)	Variable
Equipo utilizado	Cápsula en digestor rotatorio

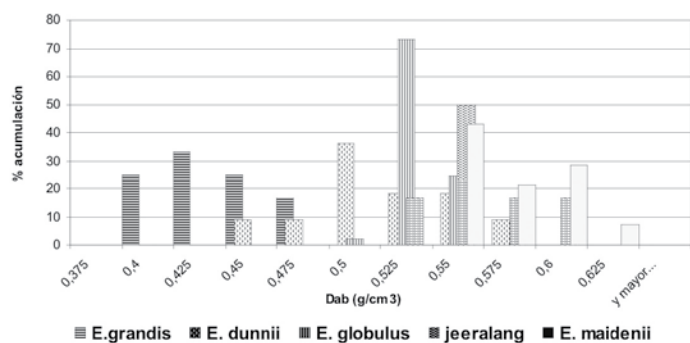
Tabla 2. Parámetros fijos y variables de cocción.

Tamizado de pasta y rendimiento de celulosa: Determinación del peso anhidro de rechazos y pulpa resultante con respecto a la muestra inicial de chips, obteniendo de esta forma el **rendimiento de celulosa** (rendimiento bruto y tamizado). El primero incluye los rechazos o incocidos, mientras que el segundo solamente toma en cuenta las fibras resultantes del proceso de tamizado.

Nº de Kappa: Tappi standard (T 236 Kappa number of pulp). El método de Kappa, permite una medida estimativa del contenido de lignina residual en pulpa. Es el consumo, en ml, de KMnO₄ 0.1N por gramo de pulpa seca. Los resultados se corrigen para un consumo de KMnO₄ del 50 % del total agregado.

Resultados y Discusión

Densidad Aparente Básica (Dab): Observando la Figura 1 se visualizan las distribuciones de densidades de la madera proveniente de los cinco materiales estudiados. En primer lugar, se observa a la izquierda el *E. grandis*, con una densidad aparente básica notoriamente menor a la de las demás especies, un promedio de 0,423 g/cm³ (Tabla 3). Posteriormente, el *E. dunnii* presenta un promedio de 0,499 g/cm³, propio de una especie con gran dispersión en los datos con un coeficiente de variación del 8,1 % (mayor rango).

Figura 1. Histograma de densidad aparente básica para *E. spp.*

El *E. globulus* muestra la menor dispersión con un C.V. de 1,7 %, acumulando el 73 % de los valores obtenidos en un rango entre 0,495 a 0,544 g/cm³ (media = 0,520 g/cm³). Para la procedencia “jeeralang”, las muestras estudiadas arrojan un Dab promedio de 0,550 g/cm³ lo que representa un 5,6 % mayor que el *E. globulus*. Por último, el *E. maidenii* se caracteriza por incluir especímenes de una muy alta densidad, con un máximo de 0,619 g/cm³ y una media de 0,559 g/cm³, lo que corresponde a un 7,3 % mayor al *E. globulus*.

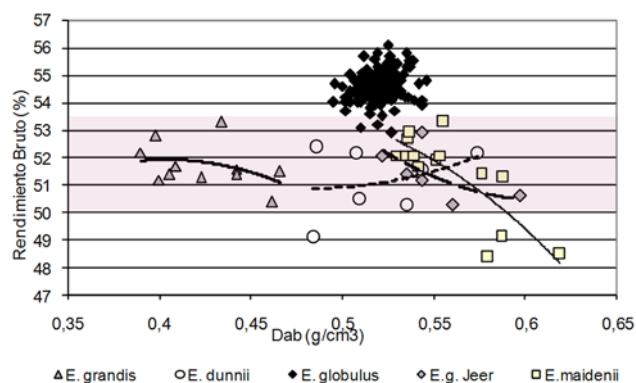
Dab (g/cm ³)	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. globulus</i> “jeeralang”	<i>E. maidenii</i>
Media	0,423	0,499	0,520	0,550	0,559
Desv.est.	0,0255	0,0407	0,0086	0,0260	0,0265
C.V.%	6,0	8,1	1,7	4,7	4,7
Rango	0,076	0,144	0,049	0,075	0,090
Mínimo	0,390	0,430	0,495	0,522	0,529
Máximo	0,466	0,574	0,544	0,597	0,619

Tabla 3. Densidad aparente básica para *E. spp.*

Por otra parte, se ha podido comprobar que el crecimiento no correlaciona con la densidad aparente básica en todas las especies estudiadas, por lo cual se hace factible la elección de árboles con alta densidad para mejoramiento genético que generen, al mismo tiempo, altas productividades forestales.

Propiedades pulpables

Rendimiento de cocción y álcali activo: En trabajos anteriores se ha realizado un comparativo entre el *E. globulus* y *E. maidenii*, llegando a la conclusión de que existen dificultades reales para realizar una mezcla de estas dos especies en un digestor de cocción Kraft. Esto se debe especialmente a las diferentes cargas de álcali activo necesarias para alcanzar un N° de Kappa de 20.

Figura 2. Rendimiento Bruto en cocción Kraft vs. densidad aparente básica para *Eucalyptus spp.*

En esta oportunidad se incorporan en el estudio comparativo *E. grandis*, *E. dunnii* y *E. globulus* “jeeralang”, y se puede observar en una primera lectura una marcada diferencia entre el *E. globulus* y las demás especies (Figura 2).

E. globulus presenta nuevamente los valores más altos de rendimiento bruto de celulosa, sobresaliendo sobre los restantes. Los valores encontrados varían entre 53 % y 56 %, siendo el valor promedio 54,5 % de rendimiento en celulosa anhidra.

Para las demás especies se observa una franja de variación entre 50 % y 53,5 %, donde los promedios son comparables tomando valores entre 51,1 % y 51,7 % (Tabla 4). Las distribuciones dentro de los rangos se mantienen en la franja salvo en el caso del *E. maidenii*, en el cual las características pulpables decrecen significativamente a densidades mayores a 0,570 g/cm³. Esto significa que *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. globulus* “jeeralang” y el rango hasta 0,570 g/cm³ de *E. maidenii* responderían similarmente a procesos de cocción, alcanzando rendimientos aceptables. Se debe tener en cuenta que los materiales son comerciales y sin mejoramiento genético. Técnicas de elección y propagación vegetativa de árboles plus que tengan en cuenta la calidad del producto final podrían ser esenciales en lo que refiere al incremento de la productividad de estas especies.

Rendimiento Bruto (%)	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. globulus</i> “jeeralang”	<i>E. maidenii</i>
Media	51,7	51,1	54,5	51,4	51,4
Desvest	0,8	1,2	0,5	1,0	1,6
C.V.%	1,5	2,4	0,9	1,9	3,1
Rango	2,9	3,3	3,2	2,6	4,9
Mínimo	50,4	49,1	52,9	50,3	48,4
Máximo	53,3	52,4	56,1	52,9	53,3

Tabla 4. Rendimiento Bruto a Kappa 20 para *E. spp.*

Esta similitud de comportamiento es reafirmada mediante un comparativo entre los valores de carga de Álcali Activo (AA%) utilizado en cocción para la obtención de pulpas de celulosa con un grado similar de N° de Kappa (K=20). Se encuentra claramente en la Figura 3 una brecha entre el *E. globulus* y las demás sub especies,

marcando dos o más franjas o rangos de uso. Se detecta una zona de bajo álcali entre 12.5 y 14 %AA para el *E. globulus* (con un promedio de 13,2 %AA), la cual respondería a una delignificación satisfactoria en cocción Kraft.

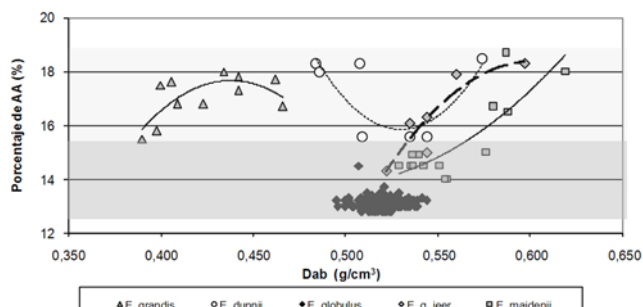


Figura 3. Álcali Activo en cocción Kraft vs. densidad aparente básica para *E. spp.*

Como se ha visto anteriormente, las condiciones de cocción necesarias para el *E. globulus* son las menos exigentes a nivel de laboratorio en cuanto a carga de químicos en licor blanco. Considerando la versatilidad de los procesos continuos o super-batch, sería posible encontrar algunas plantaciones de *E. maidenii* con bajas densidades que pudieran, a su vez, ser mezcladas con *E. globulus* con cargas algo mayores. Sin embargo, la diversidad de esta especie lleva a que pueda ser hallado un rango muy amplio de respuestas a las exigencias de %AA, lo cual podría resultar en una práctica peligrosa, con requerimientos de hasta 18 %AA. Por lo expresado anteriormente, y observando la Figura 3, se podría hacer una categorización de las maderas estudiadas en dos franjas. La primera franja sería desde 12,5 a 15,5 %AA, enrabando en ésta al *E. globulus* y al rango de hasta 0,570 g/cm³ de *E. maidenii*. La segunda, desde 15,5 a 19 %AA, en la cual se encuentran el *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. globulus* “jeeralang” y *E. maidenii* (mayor a 0,570 g/cm³). Se percibe entonces la posibilidad de mezclar estas especies en cocciones Kraft, pudiéndose manejar una relativa homogeneidad en el proceso.

Consumo de madera y productividad: Al considerar la combinación de la densidad aparente básica de madera y el rendimiento de pulpa en cocción, se incorpora un parámetro sustancial para el manejo de la materia prima utilizada. En este caso se presenta el consumo de madera para generar una tonelada de pulpa seca al aire (a.d.). En la Figura 4 se puede apreciar el consumo obtenido para el rango de Dab estudiado para cada especie.

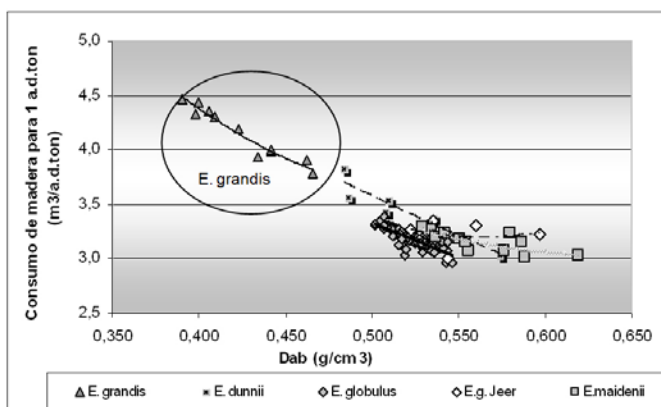


Figura 4. Consumo de madera verde (m³) para una tonelada de pulpa marrón a Kappa 20 vs. densidad aparente básica para *E. spp.*

Es considerable la diferencia encontrada entre el *E. grandis* y los demás *Eucalyptus* estudiados. Esta especie presenta un promedio de consumo cercano a 4 m³/a.d.ton, mientras que las demás se encuentran en un promedio cercano al 3,2 m³/a.d.ton. La Dab influye directamente, produciendo un efecto inverso en este parámetro, haciéndose evidente

para el *E. Grandis*, donde su Dab promedio es comparativamente más baja aunque el rendimiento pulpable es similar. Lo mismo se puede observar para las muestras de *E. dunnii* con baja densidad aparente básica (< 0,500 g/cm³), presentando consumos mayores a 3,5 m³/a.d.ton. Al igual que lo expresado anteriormente, mediante selección de árboles plus con altos crecimientos y rendimientos pulpables, sería posible obtener consumos sustancialmente menores a 3 m³/a.d.ton.

Haciendo el ejercicio teórico de combinar de a tres las especies en mezclas de composición de partes iguales, se pueden encontrar en la Tabla 5 los resultados estimados de productividad en generación de metros cúbicos de madera y de toneladas de pulpa marrón seca al aire por hectárea.

ESPECIE	Dab (g/cm³)	RB%	IMA promedio (m³/ha/año) (**)
<i>E. grandis</i> (a)	0.423	51.7	28
<i>E. maidenii</i> (b)	0.559	51.4	20
<i>E. dunnii</i> (c)	0.499	51.1	25
<i>E. globulus</i> “jeeralang” (d)	0.550	51.4	28

(**) Valores de IMA promedio de plantaciones comerciales relevadas.

Composición de Mezcla (1/3 por especie)	Consumo de mezcla (m³/ton a.d.)	Productividad forestal de mezcla (m³/ha)	Productividad tecnológica de mezcla (ton a.d./ha)
a + b + c	3.6	219	61.1
b + c + d	3.3	219	66.2
a + c + d	3.6	243	67.4
a + b + d	3.3	219	68.0

Tabla 5. Consumos y productividad estimadas de mezclas virtuales de *E. spp* de aproximadamente nueve años.

De acuerdo a este ejercicio, se demuestra que la inserción del *E. globulus* “jeeralang” a una mezcla en cualquiera de las combinaciones, redundaría en una mayor productividad tecnológica, donde se encuentra un aumento promedial del 10 % utilizando cualquier combinación, incluso cuando es elegida *E. grandis* de menor Dab. Esto resulta fundamental, ya que la base de especies alternativas comienza a ser amplia, extendiéndose hacia un gran espectro de materiales que puedan incorporar los pequeños productores de madera para pulpa.

El comparativo propuesto para diferentes especies de eucalipto implantadas en Uruguay induce a pensar que la materia prima disponible presenta una gran diversidad en cuanto a los parámetros más importantes relativos a la performance en procesos kraft. Se encuentra una diferencia notoria en Dab entre especies y entre diferentes plantaciones de una misma especie. Esta diversidad hace interesante la tarea de elección de la o las especies a tener en cuenta para un proyecto de producción de celulosa. La selección depende, en primer lugar, de un componente forestal, donde se deben maximizar propiedades de buen enraizamiento en propagación vegetativa, buena sanidad en vivero, transplante y crecimiento, adaptación al sitio y buen rendimiento de crecimiento por hectárea. En segundo lugar, depende de las propiedades físicas, químicas y anatómicas de la madera, como la densidad aparente básica, contenido de lignina, longitud de fibras y, por último la aptitud en procesos de transformación, como el rendimiento pulpable, blanqueabilidad, propiedades mecánicas y ópticas de la pulpa y papel.

Como se expresaba en la introducción, el sitio de plantación determina la capacidad de crecimiento y comportamiento forestal de cada especie, siendo notorio en el caso del *E. globulus*. Buscando especies de eucaliptos con buen comportamiento en el litoral oeste y el norte de Uruguay se encuentran especies como el *E. grandis*, el *E. dunnii* y el *E. maidenii* que presentan crecimientos acelerados. Queda claro que estas tres especies conforman una buena base forestal con potencial de utilización en una mezcla, dado los resultados similares en requerimientos de álcali activo (%AA) en cocción kraft. En ese sentido, el *E. globulus* "jeeralang" también se presenta como una alternativa para ingresar a una mezcla con cualquiera de las anteriores, proporcionando menores consumos de madera.

Finalmente, teniendo en cuenta que tradicionalmente la selección de árboles plus para una propagación vegetativa se ha realizado solamente con objetivos de aumento de productividad forestal, los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que es importante incorporar parámetros de selección como el rendimiento pulpable y la densidad aparente básica para obtener buenas productividades tecnológicas. Según lo observado, los parámetros óptimos buscados serían un consumo de 3 m³/a.d.ton (madera para una tonelada de pulpa seca al aire) y crecimientos acelerados de IMA aproximado a 35 m³/ha/año. Con estas condiciones se podría llegar a obtener un aumento hasta del 30 % de productividad tecnológica.

Conclusiones

Se mantiene una diferencia entre el *E. globulus* comercializado clásicamente por Uruguay y las cuatro especies alternativas más plantadas. Se corrobora el hecho de que las condiciones óptimas para su procesamiento son indudablemente desiguales.

Todas las especies alternativas estudiadas han presentado una gran variabilidad de densidad aparente básica entre diferentes plantaciones y también dentro de cada plantación entre árboles. *E. grandis* presenta los valores promedio más bajos, afectando el valor de consumo de madera para obtención de celulosa, pero mostrando buenas productividades forestales con crecimientos volumétricos considerables.

Se propone una categorización de las maderas estudiadas en dos franjas. La primera franja desde 12,5 a 15,5 %AA, donde se encuentra el *E. globulus* y el rango de hasta 0,570 g/cm³ de *E. maidenii*. La segunda, desde 15,5 a 19 %AA, en la cual se encuentran el *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. globulus* "jeeralang" y *E. maidenii* (mayor a 0,570 g/cm³).

Por lo antes expresado *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. maidenii* y *E. globulus* "jeeralang" muestran un gran potencial de utilización en mezclas, dados los resultados similares en requerimientos de álcali activo (%AA) en cocción kraft, obteniendo rendimientos pulpables brutos promedio cercanos al 51,4 %.

E. globulus "jeeralang" se posiciona como una alternativa interesante para ingresar a una mezcla con cualquiera de las anteriores, proporcionando menores consumos de madera y una mayor productividad tanto forestal como tecnológica.

Se considera imprescindible incorporar parámetros como el rendimiento pulpable y la densidad aparente básica a los parámetros forestales tradicionales, utilizados en la selección de árboles plus para una propagación vegetativa con el objetivo de obtener buenas productividades tecnológicas.

Referencias

- BALMELLI, G., et al. *Potencial del mejoramiento genético para el manejo de enfermedades en Eucalyptus globulus*. Montevideo: INIA, 2004. (Serie Técnica; 143).
- DOLDÁN, J. *Evaluación de parámetros de calidad de Eucalyptus globulus y Eucalyptus maidenii de plantaciones uruguayas para pulpa de celulosa*. Montevideo: LATU, 2007. (Nota Técnica; 8)
- INIA. *Seminario Forestal: Mejoramiento genético, silvicultura y*

sanidad de Eucalyptus globulus en región Sureste: junio de 2002. Tacuarembó: INIA, 2002. (Actividades de Difusión; 289).

- MIRANDA, I.; ALMEIDA, M.H.; PEREIRA, H. Influence of provenance, subspecies, and site on wood density in *Eucalyptus Globulus* Labill. En: *Wood and Fiber Science*. 2001, 33(1):9-15.
- RESQUIN, F., et al. *Caracterización de la celulosa de especies del género Eucalyptus plantadas en Uruguay*. Montevideo: INIA, 2005. (Serie Técnica; 152).
- RIMOLDI, J. A. Consideraciones comerciales del complejo maderero uruguayo. En: *Forestal*. 2007, (33):9-14.
- URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL. *Boletín estadístico* [En línea]. Montevideo: MGAP, 2005. [Consulta: 24 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/Boletin2005.pdf>

La yerba no es basura: lombricultura y producción de Vermicompost a partir de residuos de yerba mate en Uruguay

Torrendel, M. ⁽¹⁾, Useta, G. ⁽²⁾, Pelerino, F. ⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Microbiología, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

⁽²⁾ Departamento de Medio ambiente, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

⁽³⁾ Centro Uruguay Independiente (CUI)

Contacto: mtorrendel@latu.org.uy

Recibido: 26/9/2008 - Aprobado: 30/12/2008

Resumen

En Uruguay el consumo anual de yerba mate genera unas 125 toneladas de residuos orgánicos. La lombricultura es una de las formas de obtener materia orgánica a partir del reciclado de residuos domiciliarios orgánicos. Los desechos de yerba mate tienen un gran potencial de reciclado si son utilizados como sustrato en la lombricultura. Utilizando distintos sustratos, tiempos de compostaje y volúmenes de yerba, se determinaron algunas de las condiciones necesarias para la utilización de dichos residuos como sustrato para la lombriz *Eisenia fetida*. Se estudiaron las condiciones de pH que el desecho debería alcanzar para ser tolerado y mejor aprovechado por las lombrices, y el período de tiempo que la yerba demora en alcanzar estas condiciones. Se observó que el período de tiempo mínimo de precompostado para el mejor aprovechamiento de la yerba por parte de las lombrices es de cuatro semanas.

Se analizaron también las características del vermicompost obtenido, en cuanto a parámetros de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y metales. El valor de nitrógeno (1 %) y de materia orgánica, que ronda el 30 %, son similares a los encontrados en otros humus que se obtienen por métodos semejantes. Sin embargo, para el Fósforo los valores resultaron por debajo de lo encontrado en los análisis realizados por el CUI (Laboratorio Ambiental Echotech, octubre 2006).

Palabras clave: vermicompost, lombricultura, yerba mate, reciclaje, residuos orgánicos.

Abstract

The annual consumption of "yerba mate" (mate herb infusion) in Uruguay generates about 125 metric tons of organic waste. Vermicomposting is one way to obtain organic matter by recycling organic household waste. The waste of "yerba mate" has a great potential for recycling if it is used as a substrate in vermicomposting. Using different substrates, composting times and volumes of "yerba mate" we determined some of the necessary conditions for the use of yerba mate waste as a substrate for the *Eisenia fetida* earthworm. We studied the optimal pH conditions that the waste should have in order to be tolerated and best exploited by the worms and the period of time that the "yerba mate" takes to achieve these conditions. We observed that four weeks is the minimum amount of precomposting time of "yerba mate", required by the worms for an improved processing of it. The vermicompost obtained was analyzed. The following analysis were performed: organic matter, Nitrogen, Phosphorous and metals. The values found for Nitrogen (1 %) and organic matter (which was around 30 %) are parallel to the values found for other composts which are obtained by similar composting methods. However, the value of Phosphorus was found to be lower than that found in the analysis performed by CUI (Ambiental Laboratory Echotech, October 2006).

Key words: vermicomposting, worm casting, yerba mate, recycling, organic waste.

Introducción

El consumo de yerba mate, *Ilex paraguayensis* (Aquifoliaceae), cuyas hojas tostadas y desmenuzadas se beben en infusión, está ampliamente extendido en la sociedad uruguaya, estimándose una venta de 26 millones de kilos al año. En 2005 los uruguayos gastaron en este rubro unos 46 millones de dólares. Al humedecerse, el residuo de yerba generado triplica su peso, por lo que se calcula que sólo en Montevideo se desechan diariamente unas 125 toneladas de yerba usada (Solari y Pelerin, 2006). Esto genera una gran cantidad de residuo orgánico con potencial de ser reciclado y que actualmente no es aprovechado, aumentando los problemas de acumulación de residuos vinculados con la higiene y la contaminación ambiental. En este escenario la lombricultura se presenta como una alternativa de reciclaje rápida y barata.

El empleo de abonos orgánicos para mejorar las cualidades físicas y químicas del suelo es una práctica antigua y de valor comprobado. El vermicompost es el producto final que resulta del proceso de descomposición de la materia orgánica realizado por algunas especies de lombrices. Es materia orgánica estabilizada o humificada rica en nutrientes y útil como abono natural y acondicionador de suelos. El humus de lombriz producido es un abono orgánico natural que mejora la porosidad y la retención de humedad en el suelo y aumenta la colonia bacteriana (Rodríguez, 1993). En su composición están presentes todos los nutrientes en cantidades suficientes para garantizar el desarrollo de las plantas. Favorece la circulación del agua y del aire en el suelo, facilitando la absorción de los elementos fertilizantes (Malvarez et al. 1994). A su vez, contiene sustancias fitorreguladoras que aumentan la capacidad inmunológica de las plantas. La actividad de las lombrices causa la transformación de la materia orgánica fresca a un estado de mineralización y esto puede ser medido por el incremento

en la concentración de cenizas. La relación carbono/nitrógeno (C/N) aumenta con la presencia de lombrices, siendo 10 el valor que indica la relación óptima cuando el sustrato ha madurado en forma adecuada. Asimismo, la lombriz produce un aumento en el pH y en la capacidad de intercambio catiónico del sustrato (Schuldt, 2004. 151 p.)

El presente trabajo surge como propuesta del Centro Uruguay Independiente (CUI) en conjunto con el Laboratorio Tecnológico del Uruguay con el objetivo de aproximarse de manera preliminar a algunas de las condiciones necesarias para obtener compost de lombriz, a partir del residuo producido por el consumo de yerba mate, caracterizando tanto el sustrato inicial como el vermicompost final obtenido, desde el punto de vista físico-químico y microbiológico.

Materiales y Métodos

Para caracterizar el desecho yerba mate se instrumentó la recolección de este residuo generado por el personal del LATU durante todo un día (aproximadamente 600 g). De esta manera se obtuvo un volumen de yerba fresca sobre la cual se analizaron los siguientes parámetros: pH, humedad, nitrógeno, fósforo, potasio, y cenizas. Por otro lado también se obtuvieron desechos de yerba mate en un circuito de recolección previamente diseñado por el CUI, que abarcaba el barrio Cordón Norte de Montevideo. Dichos desechos (aproximadamente 50 kilos) se trasladaron al predio del LATU con una frecuencia semanal.

Se diseñaron tres etapas experimentales. La primera etapa consistió en la utilización de nueve tipos diferentes de sustratos, preparados a base de mezclas de yerba mate y estiércol en diferentes estados: yerba fresca recolectada en el día, yerba compostada que se dejó reposar y airear 10 y 28 días respectivamente y, por último, estiércol compostado, estiércol vacuno que también se dejó reposar y airear durante 30 días. El estiércol fue suministrado por el tambo "Mundo al revés". Cada mezcla fue colocada en botellas plásticas de dos litros cortadas por la mitad. Las proporciones de las mezclas, el número de réplicas y la forma de identificación de los sustratos se muestran en la Tabla 1. Cada mezcla se inoculó con cinco lombrices juveniles (*Eisenia fetida*, de 5 cm de largo) que fueron pesadas en conjunto. Se registró el pH del sustrato y se cubrió el recipiente con gasas para evitar las posibles fugas, pero permitiendo una buena aireación. Los recipientes se acondicionaron en una cámara con temperatura y humedad constantes (20 °C y 80 %) (Figura 1). A las 24 horas se suspendió el experimento al constatarse una mortandad de más del 90 %.

Como consecuencia de lo observado en la primera experiencia, se diseñó una segunda etapa utilizando otra serie de sustratos. En este caso, yerba que se mantuvo en reposo y aireada durante dos, tres y cuatro semanas respectivamente (yerba compostada), previo a su uso experimental. Se utilizaron baldes plásticos de cinco litros de capacidad, que se llenaron con 2 k de sustrato y se inocularon con un total de 10 lombrices por balde, todas en estado adulto. Se registró el peso de cada grupo de 10 lombrices, así como el pH de cada tipo de sustrato. Se verificó que la humedad al comienzo de la experiencia fuera la adecuada, según el método de compresión de puño. Para cada sustrato se realizaron tres réplicas. Los recipientes experimentales se ubicaron en una cámara de temperatura y humedad controladas (20 °C y 80 %). Cada 15 días se registró pH y peso de las lombrices presentes y se controló si la humedad del sustrato era la adecuada, regando con agua si fuese necesario. La experiencia se prolongó 90 días. Finalmente, para los análisis físico – químicos se realizó una mezcla de sustratos, utilizando las tres réplicas de cada tipo. Se procedió a analizar de dicha mezcla los siguientes parámetros: nitrógeno total, fósforo total, materia orgánica y la relación carbono/nitrógeno.

En una tercera etapa experimental y acorde a los resultados obtenidos en la segunda etapa, se utilizó yerba compostada por un período de 30 días previo al uso experimental. Se utilizaron dos cajones de madera de 0,87 m de largo, 0,70 m de ancho y 0,35 m de altura. En el cajón N° 1 se colocaron 68,3 kg de yerba inoculada con un conjunto de 0,47 kg de lombrices; en el cajón N° 2 se colocaron 72,7 kg de

yerba y se inocularon con un conjunto de 0,47 kg de lombrices. Se tomaron registros semanales de pH durante 90 días. Se pesó también el total de lombrices que se obtuvieron por cajón. A ambas muestras de sustrato obtenidas se les realizaron los siguientes análisis: nitrógeno, fósforo, materia orgánica, relación carbono/nitrógeno, pH, sulfatos, cromo, potasio, calcio, magnesio, cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc y mercurio.

Tipo de sustrato	Toma (gr.)	N de r' plicas
yerba fresca	200	6
yerba compostada (10d'as)	150	6
yerba compostada (28 d'as)	100	3
yerba fresca + 50% de estiércol compostado	150	6
yerba fresca + 25% de bosta compostada	150	6
yerba compostada (10d'as) + 50% de estiércol compostado	150	6
yerba compostada (10d'as) + 25% de estiércol compostado	150	6
yerba compostada (28 d'as) + 50% de estiércol compostado	150	3
yerba compostada (28 d'as) + 25% de estiércol compostado	100	3

Tabla 1. Conformación de cada grupo experimental en la primera etapa experimental; se muestra el tipo de sustrato, las tomas realizadas, número de réplicas y pH. Para la yerba fresca el pH es el que surge del informe de análisis químicos. El estiércol vacuno se obtuvo el 11 de octubre y se utilizó el 10 de noviembre.



Figura 1. Bandeja conteniendo los recipientes de la primera etapa experimental listos para ser introducidos en la cámara de temperatura y humedad controladas.

Resultados

Los análisis de los residuos de yerba fresca recolectada en el LATU durante un día se muestran en la Tabla 2, destacándose el bajo valor de pH.

Ensayo	Resultado
pH	4,2
Humedad (g/100g)	80,0
Fósforo (como P) (mg/Kg)	260
Nitrógeno Kjeldahl (como N) (g/100g)	4.2
Cenizas (g/100g)	1,6
Potasio (g/100g)	0,19

Tabla 2. Análisis realizados sobre residuos de yerba mate frescos (24 hs).

Primera etapa

Alas 24 horas de iniciada la experiencia se verificaron los recipientes y se comprobó la fuga de la inmensa mayoría de las lombrices de casi todos los recipientes. Se estimó conveniente suspender el experimento y comprobar cuántas lombrices vivas permanecían en cada mezcla. Se constató que solamente la muestra de yerba con 25 % del estiércol, en dos pruebas compostadas 10 y 30 días, mantenían lombrices en cinco de las seis réplicas y en número variable. Se tomaron los valores de pH, que se expresan en la Tabla 1. Considerando este primer resultado, y al no disponer de más estiércol vacuno, se diseñó la segunda etapa.

Segunda etapa

La variación de pH en los grupos con yerba compostada dos, tres y cuatro semanas se muestran en la Figura 2. Cabe aclarar que en el caso del grupo de dos semanas, las tres réplicas utilizadas mostraron el 100 % de mortandad de lombrices en la primera semana del ensayo. Sin embargo, se continuó con las mediciones de pH en los recipientes sin lombrices para observar la variación en ausencia de lombrices. Los registros mostraron un incremento sostenido de los valores de pH (grupo dos semanas y grupo tres semanas), tornándose más básico hasta el día 20, estabilizándose y descendiendo levemente hasta el valor aproximado de 7,5 próximo a los 100 días de experiencia. El grupo correspondiente a las cuatro semanas parte de un valor de pH próximo a 8 y continúa subiendo hasta el día 30, a partir del cual se ve un descenso pronunciado hasta el día 60, cuando se estabiliza hasta el valor final de 7,5 aproximadamente.

Variación de pH promedio por grupo experimental

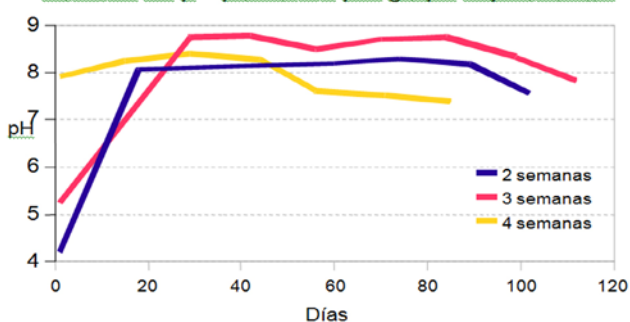


Figura 2. Variación del pH promedio de cada grupo en función del tiempo, días correspondientes a los grupos experimentales de dos, tres y cuatro semanas.

Con respecto a la variación en la biomasa, el grupo correspondiente a yerba compostada tres semanas presentó una reducción importante del número de lombrices en la primera semana de registros y posteriormente una mortandad del 100 % en dos de las tres réplicas (Figura 3).

El grupo yerba compostada cuatro semanas mantuvo la población de lombrices estable hasta los 60 días aproximadamente; a partir de ese momento se observó un incremento considerable de la población de juveniles, lo cual se vio reflejado en un aumento sostenido en la biomasa total (Figura 4). Se observó presencia de cocones en todas las réplicas de este grupo a partir del mes y medio de comenzada la experiencia.

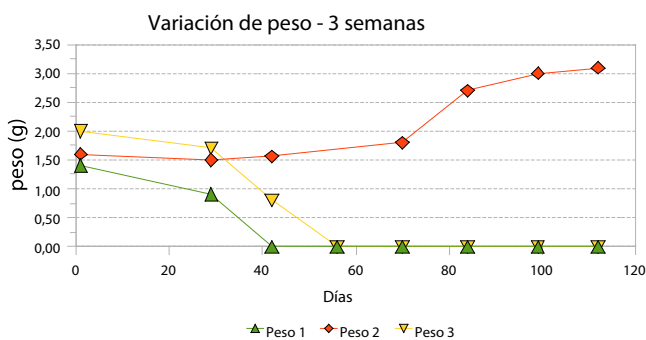


Figura 3. Variación de biomasa de las lombrices correspondiente al grupo yerba compostada de tres semanas. Dos de las réplicas alcanzaron 100 % de mortandad entre los 40 y 60 días de comenzada la experiencia. Peso 1, peso 2 y peso 3 corresponden a las distintas réplicas.

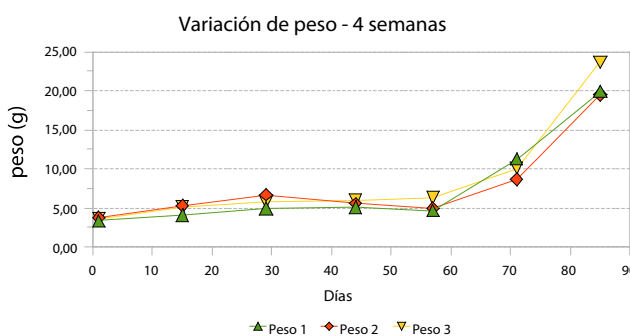


Figura 4. Variación de biomasa correspondiente al grupo yerba compostada de cuatro semanas. Peso 1, peso 2 y peso 3 corresponden a las distintas réplicas

Al finalizar la experiencia se analizaron químicamente los pools de réplicas de los sustratos correspondientes a las muestras de los dos grupos de yerba compostada de tres y cuatro semanas respectivamente, ya que fueron las únicas que mantuvieron poblaciones de lombrices vivas. Los resultados muestran similitudes en los valores de la mayoría de los parámetros medidos, excepto por una pequeña diferencia en el fósforo total (Tabla 3). De acuerdo a los resultados obtenidos en estos ensayos, se diseñó la tercera etapa experimental.

Ensayo	Semana 3	Semana 4
Materia orgánica base seca (g/100g)	27,6	23,7
Fósforo (como P) (mg/kg)	633	526
Nitrógeno Kjeldahl (como N) (g/100g)	1,3	1,2
Relación C/N	12,3	12,4

Tabla 3. Resultados de los ensayos realizados al pool de compost obtenido en la segunda etapa.

Tercera etapa

Los registros del pH de los cajones donde se realizaron los ensayos con yerba de 30 días se muestran en la Figura 5. El comportamiento

inicial fue un descenso en el valor del pH durante los primeros 35 días, hasta un valor aproximado de 7,2. Posteriormente aumentó el valor y se estabilizó cercano a 8.

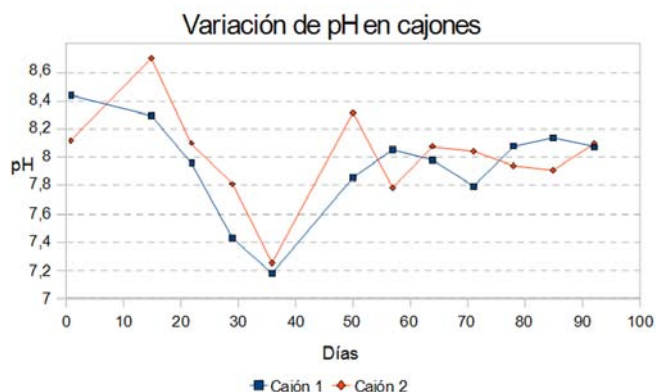


Figura 5. Variación del pH en función del tiempo, correspondiente a la tercera etapa realizada en cajones.

Una vez terminado el experimento se analizaron los parámetros físico-químicos del vermicompost resultante, los cuales se detallan en la Tabla 4.

Ensayo	Cajón 1	Cajón 2
Materia orgánica base seca (g/100g)	30,2	25,5
Fósforo (como P) (mg/kg)	439	452
Nitrógeno Kjeldahl (como N) (g/100g)	1,3	1,1
Relación C/N	13,5	13,4
pH	7,96	7,36
Sulfatos (como SO ₄) (mg/kg)	2,70	2,82
Cromo (mg/kg)	< 5,0	< 5,0
Potasio (mg/kg)	9,5E+03	7,7E+03
Calcio (mg/kg)	1,5E+04	1,7E+04
Magnesio (mg/kg)	8,8E+03	5,4E+03
Cadmio (mg/kg)	<2,0	<2,0
Cobre (mg/kg)	<60	<60
Níquel (mg/kg)	<4,0	<4,0
Plomo (mg/kg)	<5,0	<5,0
Zinc (mg/kg)	<2,0	<2,0
Mercurio (mg/kg)	<1,8	<1,8

Tabla 4. Ensayos realizados al vermicompost obtenido en la tercera etapa experimental

Discusión y Conclusiones

El presente proyecto buscó determinar de manera muy básica aquellas condiciones más favorables para la producción de compost a partir de residuos de yerba mate como sustrato y a la lombriz de tierra roja (*Eisenia fetida*). Los procedimientos aquí utilizados pretendieron contemplar a los empleados por el CUI en cuanto a las etapas piloto se refiere (Solari y Pelerin, 2006). Por último se analizaron las

características físico-químicas del humus resultante.

La primera etapa experimental planteó problemas en la adaptación de la lombriz a los diferentes sustratos propuestos. Se evidenció una gran mortandad a las 24 horas de comenzada la experiencia, observándose un abandono de los recipientes de forma masiva. Los sustratos estaban compuestos por diferentes porcentajes de yerba y estiércol vacuno, con pH iniciales próximos a 8 en la mayoría de los casos. Las mezclas que presentaron valores de pH más ácidos fueron las que tenían yerba fresca y estiércol compostado. Los sustratos fueron elaborados a partir de mezclas que se hicieron el día del inicio de las experiencias, encontrándose la dificultad en la homogeneización de la yerba con el estiércol, y posiblemente la medición de pH no fue muy precisa. No se descarta que otros factores tal como el tamaño reducido de los recipientes y la falta de escurrimiento pudieran causar anoxia y posterior mortandad, o bien una gran variación posterior del pH en el sustrato debida a una mala homogeneidad, causaron la fuga y muerte de la mayoría de las lombrices. El rediseño experimental consideró utilizar recipientes de mayor tamaño y no usar estiércol, ya que no se disponía del mismo en el tiempo necesario.

La segunda etapa mostró una muerte masiva en el grupo correspondiente a la yerba compostada durante dos semanas. Se conoce que el rango de pH tolerable de *Eisenia fetida* se encuentra en el entorno de 5 y 8,5, encontrándose un pH 4 al inicio del ensayo, lo cual pudo afectar la sobrevivencia de este grupo.

Durante la etapa experimental en cajones el comportamiento del pH fue parecido en ambas réplicas y como era esperable en un proceso de compostaje. Las curvas de pH a lo largo del tiempo coincidieron en estabilizarse en valores entre 7 y 8 al final del tercer mes de experiencia. Esta característica química del sustrato coincidió con la aparición de posturas (cocones) y de los primeros juveniles.

En base a estas primeras observaciones experimentales, parecería conveniente que previo a la introducción de lombrices, se dejara reposar la yerba fresca durante por lo menos un mes, manteniendo la humedad de la misma, hasta lograr la estabilización del pH. De esta forma sería posible una mejor adaptación de las lombrices al sustrato dentro de un rango tolerable de pH, disminuyendo la mortandad y permitiendo el desarrollo de los estadios juveniles. Dado al diseño experimental planteado, el cual intenta reducir la manipulación directa de las lombrices, no fue posible estimar los efectos causados por tal perturbación. Por lo tanto este puede ser un factor más a tener en cuenta dentro de las variables que afectan los resultados obtenidos.

La calidad del humus bajo estos tratamientos experimentales se comparó con resultados analíticos de otros trabajos y de ensayos previos del vermicompost obtenido por el CUI, según su método de trabajo. El valor de nitrógeno (1 %) y de materia orgánica, que ronda el 30 %, es similar al encontrado en otros humus que se obtienen por procedimientos semejantes. En cambio, para el fósforo los valores medidos en el presente trabajo resultaron por debajo de lo encontrado en el análisis realizado por CUI (Laboratorio Ambiental Echotech, octubre 2006).

En Uruguay no se encontraron normas que establezcan las características que debe tener el humus obtenido a partir de lombrices para ser comercializado. En general, cada país tiene sus propios límites establecidos dentro de los parámetros de caracterización, dependiendo del uso que tenga el humus obtenido, ya sea para cultivos, viveros, etcétera. Si bien es difícil encontrar estándares sobre humus de lombriz, se puede comparar con estándares de humus en general. La variación de la calidad del humus de lombriz está dada por varios factores, uno de los más importantes es la dieta (sustrato), donde se realiza la transformación. En este trabajo los niveles de metales encontrados se encuentran por debajo de los rangos permitidos para compost dentro de la Unión Europea y para Estados Unidos (Briton, 2000).

Cabe aclarar que este es un estudio preliminar para conocer algunas de variables que afectan la producción de vermicompost a partir de residuos de yerba mate. Sin embargo y en base a lo observado, la cantidad de materia orgánica obtenida por este proceso de vermicultura parece ser baja comparada con los demás humus obtenidos por procesos de compostaje. De todas formas, si se considera la facilidad en el manejo para obtener este producto y el bajo costo en la inversión

inicial, parece ser un sistema adecuado para su aplicación a nivel doméstico y de pequeñas huertas o viveros, redundando en beneficios a nivel de aporte de nutrientes al suelo y aprovechando un residuo tan frecuente y abundante en los hogares uruguayos como la yerba mate.

Reconocimientos

Agradecemos a la editora Marina Barrientos y a los revisores anónimos por la lectura crítica del manuscrito. A Flavio Pelerino por sus sugerencias y contribuciones al proyecto conjunto con la CUI. Por último, agradecemos a todo el personal del LATU que de una u otra manera hicieron posible llevar adelante este trabajo.

Referencias

- BRITON, W. *Compost quality standards and guidelines: final report* [En línea]. Mount Vernon: Woods End Research Laboratory, 2000. [Consulta: 3 de octubre de 2008]. Disponible en: <http://compost.css.cornell.edu/Brinton.pdf>
- FOGAR, M. N.; CRACOGNA, M. F.; IGLESIAS, Mariano. *Respuesta de la lombriz roja (Eisenia foetida) frente a diferentes alimentos*. Corrientes: Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE, 2000.
- HERNÁNDEZ, José Danilo; MONTES DE OCA, Paulina; VILLALOBOS, Cecilia. Estudio reproductivo de la lombriz de tierra Eisenia foetida en cuatro sustratos, en la finca experimental Santa Lucía, Universidad Nacional. En: Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. *X Congreso Agronómico Nacional y de Recursos Naturales*, (San José 8-12 de julio de 1996). San José: Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, 1996.
- MALVAREZ, G.; ZORRILLA, A.; RODRIGUEZ, A. *Alternativas de abonos orgánicos: compostaje con lombrices*. Montevideo: Escuela Agroecológica Programa Norte, 1994.
- MUNROE, Glenn. *Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture* [En línea]. Truro: Organic Agriculture Centre of Canada, 2004. [Consulta: 3 de octubre de 2008]. Disponible en: http://oacc.info/DOCs/Vermiculture_FarmersManual_gm.pdf
- RECALDE, Luis A. *Proyecto: lombrices californianas (Eisenia foetida)* [En línea]. [s.l.]: [s. n.], [s.d.]. [Consulta: 3 de octubre de 2008]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos10/lombri/lombri.shtml?relacionados>
- RODRÍGUEZ, Angel Ramón. *Producción y calidad de abono orgánico por medio de la lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) y su capacidad reproductiva* [En línea]. [Consulta: 3 de octubre de 2008]. Disponible en: www.fao-sict.un.hn/practicas/unload/944.pdf
- SCHULDT, M., et al. Pruebas de aceptación de alimentos y contraste de dietas en lombricultura. En: *RedVet*. 2005, 6(7):1-12.
- SOLARI, Jorge; PELERINO, Flavio. *La yerba no es basura: lombrices, humus y cultivos urbanos*. Montevideo: Centro Uruguay Independiente, 2006.
- TOCCALINO, Pedro A.; ROUX, Juan P.; AGÜERO, Celeste M. *Comportamiento reproductivo de Eisenia foetida durante las cuatro estaciones del año y alimentadas con distintos compostajes* [En línea]. Corrientes: Facultad de Ciencias Veterinarias, 1999. [Consulta: 3 de Octubre de 2008]. Disponible en: <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Toccalino1999.pdf>

Ensayo de aptitud realizado en LATU para validación del método de calibración y uso de pipetas de vidrio y pipetas automáticas

Santo, C.⁽¹⁾, Constantino, P.⁽¹⁾, Sica, A.⁽¹⁾

Contacto: csanto@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Metrología, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 11/9/2008 - Aprobado: 2/12/2008

Resumen

En 2008 se realizó un ensayo de aptitud para calibración de material volumétrico, con la participación de varios analistas (en su mayoría nuevos en la tarea) de los laboratorios de ensayo del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Para el mismo se utilizaron dos pipetas, una de vidrio de 1 ml y una pipeta automática de volumen regulable entre 0 y 1 ml, ésta última calibrada para el valor correspondiente a 1 ml. Con el fin de evaluar la repetibilidad en la medición, cada analista repitió entre 6 y 10 veces la calibración con cada pipeta. Se evaluó la media aritmética de las mediciones de cada analista para cada pipeta y se estimó su incertidumbre expandida. Aquí se presentan los gráficos con las medias y las incertidumbres obtenidas para cada tipo de pipeta y se efectúa un estudio comparativo de los resultados. A modo de conclusión se evaluó la reproducibilidad de cada tipo de instrumento, en base a lo cual se formulan recomendaciones para su uso y calibración.

Palabras clave: material volumétrico, pipeta, ensayo de aptitud, calibración.

Abstract

In 2008 several chemical analysts from LATU's test laboratories (most of them new to their task) took part in a Proficiency Test for the use of volumetric glassware. Two pipettes were used: a glass pipette of 1 ml, class B, and an automatic pipette of variable volume between 0 ml and 1 ml. The latter was calibrated at 1 ml. All analysts were asked to repeat each calibration between 6 and 10 times to allow an estimate of the measurement repeatability. The average value performed by each analyst for each pipette was evaluated and its uncertainty estimated. Graphs are presented showing the analysts' means and uncertainties for each pipette and the results are compared. As a conclusion, the reproducibility of each kind of instrument is evaluated according to which recommendations are given for the calibration and use of the two types of pipette.

Key words: glassware, pipette, Proficiency Test, calibration.

Introducción

El LATU es una institución certificada por la norma ISO 9001 y aproximadamente 250 de los ensayos químicos y físicos que se realizan se encuentran acreditados por la norma ISO 17025. Está implementado por lo tanto un Sistema de Gestión que asegura la calidad de los resultados emitidos. En el punto 7.6 de la ISO 9001, así como en el punto 5.6 de la ISO 17025, se establece la necesidad de utilizar equipamiento calibrado durante la realización de los ensayos.

Dada la dimensión de la institución, que integra diferentes departamentos analíticos especializados, la cantidad de material volumétrico que se utiliza es muy grande. En el pasado todo el material volumétrico era calibrado en el Departamento de Metrología Científica. Para mejorar la gestión de los recursos y la calidad de los resultados analíticos, se implementó la política de calibrar el material volumétrico por parte del personal de cada uno de los departamentos que hacen uso del mismo. Esta política presenta la ventaja de asegurar que el material se calibre en las mismas condiciones y con la misma metodología con que se usa, disminuyendo de esta forma los errores en el uso y favoreciendo el entrenamiento del personal que utiliza el material volumétrico, haciéndolo participar del proceso de calibración.

Para evaluar la competencia del personal, la calibración del equipamiento y el aseguramiento de calidad en las mediciones en los distintos departamentos, se realizan ensayos de aptitud periódicos en calibración de material volumétrico en los que participan los nuevos analistas (de forma de validar la forma de uso del material volumétrico)

y analistas más experimentados (para evaluar si sus resultados siguen dentro del rango de tolerancia).

Se debe tener en consideración que los problemas detectados en la calibración del material volumétrico reflejan problemas en el uso del mismo.

Frente a la gran cantidad de métodos químicos existentes que involucran, a su vez, un número creciente de matrices y analitos, se evidencia la falta de oferta de interlaboratorios y/o de materiales de referencia para cada método y en cada analito y matriz. En estos casos se debe recurrir al aseguramiento de calidad de los métodos químicos, asegurando metrológicamente cada subproceso involucrado (por ejemplo: uso de material volumétrico, extracciones, separación cromatográfica, etc.). En ese sentido resulta importante mantener en control el subproceso de uso de material volumétrico.

En cada ensayo de aptitud se seleccionan dos ítems de material volumétrico que son calibrados por técnicos del Departamento de Metrología para asignarles el valor de referencia. Los ítems se hacen circular según un plan especificado entre los analistas de los distintos departamentos analíticos del LATU para que procedan a su calibración utilizando igual procedimiento. Los resultados de calibración acompañados de sus respectivas incertidumbres son informados al organizador, que procesa los datos, los evalúa y elabora un reporte. Luego se realiza una reunión de devolución con los participantes, donde se discuten los resultados, se asignan causas probables a las tendencias y desviaciones y se evalúan posibles acciones correctivas y preventivas a implementar.

Materiales y Métodos

En el caso del ensayo de aptitud, objeto del presente estudio, se evaluó la competencia de distintos analistas en el uso y calibración de una pipeta aforada de vidrio de 1 ml y una pipeta automática de volumen variable calibrada en un volumen de 1 ml.

El método utilizado para la calibración es un procedimiento interno del LATU basado en las normas ISO 4787 e ISO 648.

Los resultados obtenidos sirvieron no solo para evaluar la calidad de las mediciones de volumen en los departamentos, sino también para comparar el comportamiento en el uso de estos dos tipos de pipetas, las fuentes de incertidumbre asociadas a cada una y su cuantificación.

Participaron 10 analistas de distintos departamentos del LATU, ocho de ellos pertenecientes al área química y los dos restantes al área de volumen del Departamento de Metrología.

El valor de referencia fue calculado como el promedio ponderado de los valores obtenidos por los técnicos del área de volumen del Departamento de Metrología (identificados como analistas 1 y 2), en el caso de la pipeta aforada, y por la media aritmética de los participantes en el caso de la pipeta automática. Esto se debe a que en el caso de material de vidrio aforado está implementado un sistema de aseguramiento de calidad en las mediciones por parte del Departamento de Metrología Científica que asegura resultados confiables en el marco de las normas ISO de referencia citadas. No es así para el caso de la pipeta automática, donde no existen normativas de uso, salvo las del fabricante. Los resultados de las mediciones de volumen son trazables al Sistema Internacional, ya que las capacidades de masa y temperatura están declaradas en el apéndice C del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (Comité Internacional de Pesas y Medidas).

Resultados

Definiciones:

$$E_n = \frac{E}{\sqrt{(U_{LATU}^2 + U_{LAB}^2)}}$$

E_n - Error normalizado

E - Error = Valor informado por el analista - Valor de referencia

U_{LATU} - Incertidumbre asumida para el valor de referencia

NOTA: Se asumió para el valor de referencia una incertidumbre igual a la tolerancia definida para la pipeta, de forma de evaluar qué laboratorios se alejaban del valor de referencia más que el valor de la tolerancia, teniendo en cuenta la incertidumbre de la medición.

En el caso de la pipeta aforada se asumió un valor de tolerancia igual al correspondiente a una pipeta clase B y en el caso de la automática a un 0,5 % del valor, según lo indica el fabricante.

U_{LAB} - Incertidumbre en el valor informada por el analista.

Un error normalizado superior a 1 implica que el error en la medición es significativo, ya que relaciona por su definición el valor del error en la medición con la incertidumbre de dicho error.

Para evaluar el efecto de estos errores en el uso rutinario de una pipeta, si se sigue el mismo procedimiento que el utilizado en la calibración, el error relativo que se obtendría en un posible resultado, por ejemplo de una solución valorada preparada por cada analista participante, sería mayor o igual que el error relativo calculado a partir de los datos de error provenientes de las Tablas 1 o 2.

Resultados pipeta de vidrio

Analista	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resultado /cm ³	0,9612	0,9655	0,9696	0,9983	0,9677	0,9925	0,9995	0,9708	0,9800	0,9926
U_{LAB} /cm ³	0,0077	0,0018	0,0044	0,0054	0,0073	0,0079	0,0029	0,0012	0,021	0,0084
Valor de referencia/cm ³	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653	0,9653
U_{LATU} /cm ³	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150
E /cm ³	-0,0041	0,0002	0,0044	0,0330	0,0024	0,0272	0,0342	0,0055	0,0147	0,0273
E_n	-0,24	0,01	0,28	2,07	0,14	1,61	2,24	0,37	0,57	1,59

Tabla 1. Resultados obtenidos para la pipeta aforada.

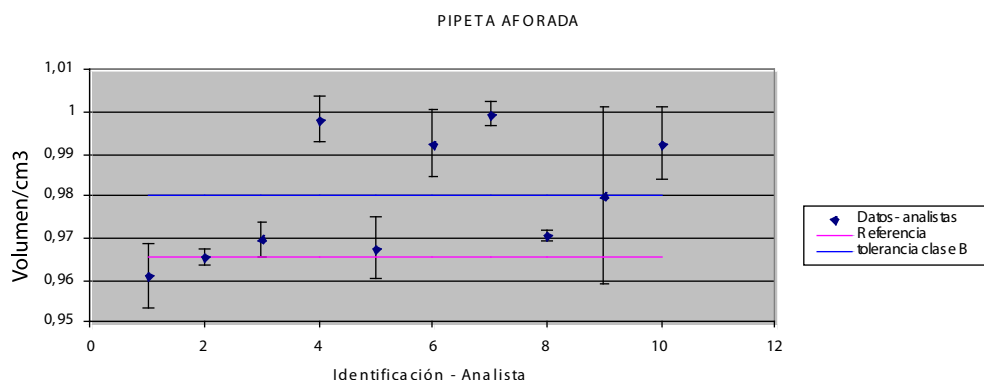


Figura 1. Gráfico de resultados con su incertidumbre- pipeta aforada

Resultados de pipeta automática

Laboratorio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resultado/cm ³	1,0035	1,0056	0,9933	1,0004	1	0,9993	0,9986	1,0028	0,9995	1,0053
U_{LAB} /cm ³	0,0008	0,0008	0,0049	0,0044	0,0002	0,0007	0,0015	0,0008	0,0013	0,0032
Valor de referencia/cm ³	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083	1,00083
U_{LATU} /cm ³	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
E /cm ³	0,0027	0,0048	-0,0075	-0,0004	-0,0008	-0,0015	-0,0022	0,0020	-0,0013	0,0045
E_n	0,53	0,94	-1,08	-0,06	-0,17	-0,30	-0,43	0,39	-0,26	0,75

Tabla 2. Resultados obtenidos para la pipeta automática.

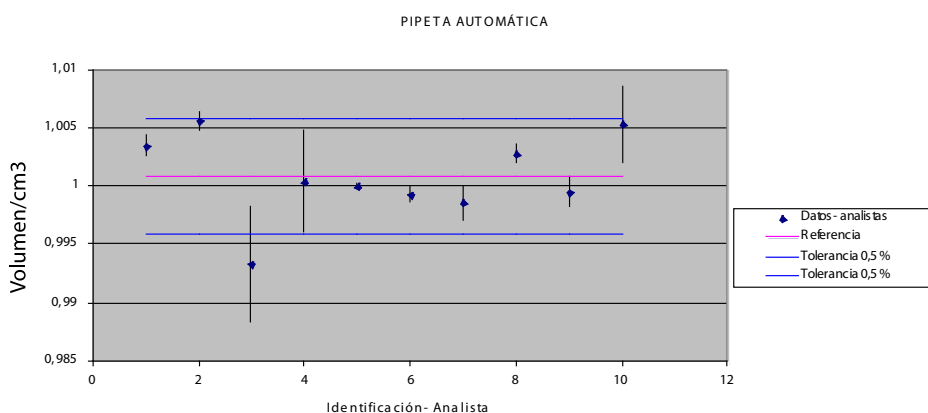


Figura 2. Gráfico de resultados con su incertidumbre- pipeta automática.

Resultados de repetibilidad de las dos pipetas

El valor de repetibilidad corresponde al desvío estándar obtenido a partir de los resultados de las repeticiones realizadas por cada analista para cada pipeta.

ANALISTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PIPETA DE VIDRIO/ml	0,0108	0,0024	0,0130	0,0024	0,0065	0,0110	0,0027	0,0019	0,0182	0,0030
PIPETA AUTOMÁTICA/ml	0,0007	0,0009	0,0059	0,0050	0,0027	0,0009	0,0019	0,0009	0,0017	0,0017

Tabla 3. Desvíos estándar de los valores obtenidos para cada pipeta.

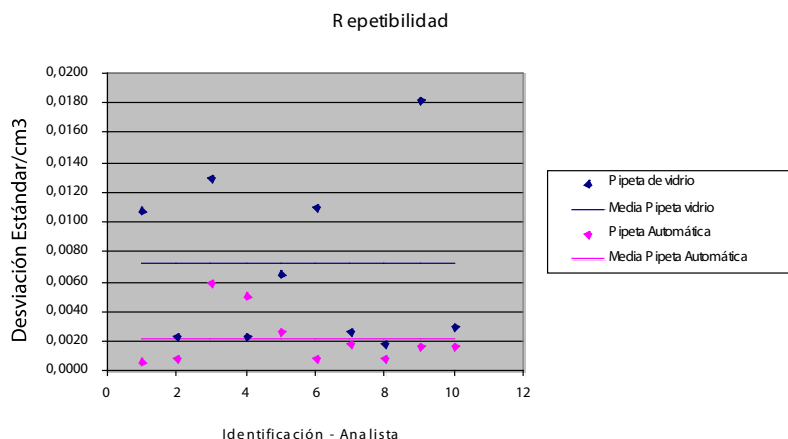


Figura 3. Gráfico de desvíos estándar.

Discusión

- En el caso de la pipeta aforada, cuatro de los 10 analistas presentan errores normalizados mayores que 1. Tres de ellos corresponden a analistas que han ingresado en el último año.
- En el caso de la pipeta automática todos los errores normalizados son inferiores a 1.
- Se infiere que la pipeta automática tiene mejor reproducibilidad.
- Asimismo es posible ver que en el caso de las pipetas automáticas los valores de repetibilidad son mejores en este caso.

A los efectos de analizar los resultados obtenidos y tomar las acciones correctivas necesarias, en caso de resultados no conformes para el uso propuesto es importante tener en cuenta algunas de las posibles causas de errores (sistemáticos en su mayoría).

En el caso de la pipeta aforada:

- Errores en el enrase.
- Diferencias en la forma de vaciado de la pipeta respecto a la especificada en el procedimiento, sobre todo en la descarga final, ya que se debe dejar el tiempo de escurrido especificado y no realizar ningún movimiento brusco que provoque la descarga de las últimas gotas que no caen por gravedad.

Considerados estos errores, en la mayoría de los casos se obtendrían valores superiores a los que se obtienen si se sigue el procedimiento en todos sus términos.

En el caso de la pipeta automática:

- Diferencias en la forma y la fuerza utilizadas para presionar el mecanismo de vaciado de la misma.

En ambas pipetas:

- Errores en las mediciones de temperatura.
- Errores originados por la calidad del agua destilada utilizada.

Se observó que en el caso de la pipeta aforada hubo problemas de manipulación por parte de algunos analistas, que hacen que la reproducibilidad de los resultados no sea buena. Se eligió una pipeta de 1 ml clase B, de formato tal que los posibles errores de manipulación se vieran amplificadas, para evidenciarlos y corregirlos. Esta evaluación se realizó en la reunión de discusión de resultados, en la cual se discutieron las posibles causas de los errores constatados, planteándose todas las posibilidades evaluadas. Se detectó que los valores que están por encima se deben en general a que se realizó algún movimiento brusco de la pipeta, el cual provocó la salida de la última porción de agua de su interior, que en otras condiciones no se hubiera dado. Pueden haber existido problemas también en la visualización del menisco. Se resolvió, entonces, proceder a un entrenamiento del personal para unificar los criterios de uso, sobre todo en el caso de bajos volúmenes, ya que en los ensayos de aptitud anteriores, con volúmenes mayores, los resultados han sido buenos. Como en este caso se utilizó una pipeta que amplificaba los problemas, convendría repetir el estudio una vez finalizado el entrenamiento, agregando una pipeta de las mejores de plaza y comparando la performance de ambas con cada analista.

En el caso de la pipeta automática, los valores obtenidos tienen una mayor reproducibilidad, lo que evidencia que el método de descarga es el mismo en todas las ocasiones y no parece depender apreciablemente de la fuerza y la forma en que cada analista realiza la descarga.

Teniendo esto en cuenta y observando los valores de repetibilidad, en la Figura 3 se evidencia que la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones de volumen en el caso de la pipeta automática son mejores que en el caso de la pipeta aforada de vidrio.

Conclusiones

Cuando se usa material volumétrico aforado, sobre todo cuando sus volúmenes son pequeños, debe procederse a una apropiada selección del mismo.

Debe mantenerse un entrenamiento del personal nuevo en el uso adecuado del material volumétrico y un reentrenamiento en el caso que los resultados lo ameriten. Esta conclusión responde a que tres de los cuatro resultados no conformes obtenidos para la pipeta aforada corresponden a analistas que han ingresado en el último año.

Es recomendable en el caso de querer minimizar las incertidumbres que la persona que usa el material volumétrico sea la misma que lo calibra, debido a que en ambos tipos de pipetas los valores de repetibilidad son mucho mejores que los de reproducibilidad.

El uso de pipetas automáticas disminuye la influencia del analista en los volúmenes entregados, siempre y cuando éstas sean de buena calidad.

Referencias

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (Suiza). ISO/IEC 17025: *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Geneva: ISO, 2005.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (Suiza). ISO 9001: *Quality management systems – requirements*. Geneva: ISO, 2000.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (Suiza). ISO 4787: *Laboratory glassware volumetric glassware - methods for use and testing of capacity*. Geneva: ISO, 1984.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (Suiza). ISO 648: *Laboratory glassware one-mark pipettes*. Geneva: ISO, 1977.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (Suiza). ISO 13528: *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*. Geneva: ISO, 2005. [Consulta: 20 de abril de 2008]. Disponible en: http://www.iso.org/iso/isocatalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35664
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (Suiza). ISO/IEC Guide 43-1: *Proficiency testing by interlaboratory comparisons – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes*. Geneva: ISO, 1997.

Método de Cuckow para la calibración de aerómetros: diseño y puesta a punto del equipo

Cáceres, J. ⁽¹⁾, Santo, C. ⁽¹⁾

Contacto: jcaceres@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Metrología, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 6/10/2008 - Aprobado: 16/12/2008

Resumen

El método utilizado en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) para calibración de aerómetros es el "Método de Cuckow para calibración de aerómetros utilizando agua adicionada con un tensoactivo como fluido patrón". En este método se usa un tensoactivo para bajar la tensión superficial del agua destilada utilizada como fluido patrón y se verifica que la variación en la densidad de la misma, producto del agregado del tensoactivo, contribuye en forma despreciable a la incertidumbre del método y puede ser contemplada dentro de la incertidumbre aceptada para la densidad del agua destilada.

Se planificó una estrategia para bajar la incertidumbre de calibración del método; para ello se diseñó un recipiente con un sistema de termostatación con recirculación de agua por camisa, lo que aporta estabilidad térmica al sistema. Se utilizó agitación mecánica para favorecer la termostatación y evitar gradientes de densidad asociados a inhomogeneidad en la temperatura. También se realizaron mejoras en el sistema de ajuste de la lectura y formación del menisco.

Luego de estas mejoras se validó nuevamente el método y se demostró que se alcanza la meta propuesta de disminuir las incertidumbres de calibración, estando en condiciones de aplicarlo a calibración de aerómetros de precisión.

En el presente artículo se detallan las consideraciones realizadas en el diseño y puesta a punto del equipo mejorado, fundamentalmente el recipiente y el sistema de termostatación. Se plantea la construcción del recipiente a partir de tubos de vidrio disponibles en el mercado, bajando así sus costos.

Palabras clave: Cuckow, densímetros, calibración.

Abstract

The method used in Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) for hydrometers calibration is the "Cuckow method for hydrometers calibration using water added with a surfactant as a standard". A surfactant is used to decrease the surface tension of distilled water used as a standar and is verified that the density variation of distilled water produced by the surfactant adds a small contribution to the uncertainty of the method and can be contemplated within the accepted uncertainty for the density of distilled water. A strategy to reduce the uncertainty calibration of the method was planned; to perform it a container with a system of thermostatisation with recirculating water per jacket to provide thermal stabilization to the system was designed, shaking to improve the thermostatisation and avoid gradients of density associated with inhomogeneities in the temperature. Improvements were made in the adjustment system of reading and shape of the meniscus. The improved method was validated again and it was demonstrated that improvements help to reduce the uncertainties of calibration, giving the possibility to apply it for calibration of precision hydrometers. In this article considerations in designing and working conditions adjustments of the improved equipment are detailed, mainly in the container and its jacket for recirculating water of thermostatisation. This raises its construction with tubes of glass available on the market and lowering the costs.

Key words: Cuckow, aerometer, calibration.

Introducción

El método utilizado en LATU para calibración de aerómetros: "Método de Cuckow para calibración de aerómetros utilizando agua adicionada con un tensoactivo como fluido patrón" fue presentado en el Simposio Metrología 2006. En aquella oportunidad se utilizó un tensoactivo para bajar la tensión superficial del agua destilada utilizada como fluido patrón. Se demostró que la variación en la densidad del agua, producto del agregado del tensoactivo, contribuye en forma despreciable a la incertidumbre del método y puede ser contemplada dentro de la incertidumbre aceptada para la densidad del agua destilada. En el trabajo anteriormente citado se presentó un cálculo de incertidumbre, demostrando que el método puede aplicarse en la calibración de la mayoría de los aerómetros disponibles en plaza. También se presentaron datos de validación del método: exactitud y precisión. Las medidas se realizaron utilizando agua y tridecano como fluidos patrón.

El equipo original utilizado (con el que se llevaron a cabo los experimentos publicados en 2006) presentaba ciertas carencias en cuanto a la homogeneidad y estabilidad en la temperatura. El

recipiente de calibración consistía simplemente en una probeta sin ningún tipo de aislamiento, lo que facilitaba la transferencia de calor a través de las paredes, dificultando la obtención de menores incertidumbres. Por este motivo se planificó una estrategia para bajar la incertidumbre de calibración del método a través de la mejora del equipamiento utilizado. Para ello se diseñó un equipo de calibración con un sistema de termostatación por recirculación de agua por camisa, con agitación mecánica para favorecer la termostatación y evitar gradientes de densidad del líquido patrón asociados a inhomogeneidad en la temperatura. Se realizaron, además, mejoras en el sistema de ajuste de la lectura y formación del menisco. Los resultados se presentaron en IMEKO 2007. En aquella oportunidad se detallaron las mejoras introducidas al sistema original, se validó nuevamente el método mejorado y se demostró que se alcanzaba la meta propuesta de disminuir las incertidumbres de calibración, quedando en condiciones de aplicarlo a calibración de aerómetros de precisión, como alcohómetros de precisión y densímetros con divisiones 0,0001 g/ml.

El objetivo del presente artículo es detallar las consideraciones realizadas en el diseño y puesta a punto del equipo, fundamentalmente

en el recipiente de contención del líquido patrón y su camisa de recirculación del agua de termostatación.

Las descripciones pertinentes al método de Cuckow, fundamento del método, equipos de laboratorio necesarios para su implementación, protocolo de calibración, entre otras, pueden ser encontradas en los dos artículos antes mencionados. En este artículo se describe brevemente el equipo, considerando los aerómetros disponibles y un diseño del sistema adecuado para la calibración de los mismos, que comprenden un amplio rango de dimensiones. El equipo debe cumplir, además, la meta de mantener la temperatura del líquido patrón en un rango de $(20 \pm 0,03)$ °C.

Materiales y Métodos

Descripción del equipo

El equipo mejorado (Figura 1) consiste en un recipiente con camisa de termostatación en cuyo interior contiene el líquido de calibración donde se sumerge el aerómetro que se encuentra colgado de una balanza ubicada por encima del recipiente. Se utiliza una estructura con forma de una caja de acrílico donde puedan colocarse el recipiente en su interior y la balanza en la parte superior de la caja. Esta caja protege al equipo de corrientes de aire que puedan generarse en el laboratorio y que puedan producir tanto desestabilización térmica como oscilaciones en el aerómetro y, por lo tanto, variaciones en la lectura de la balanza.

El aerómetro es colgado de la balanza por medio de un sistema con forma de tornillo que permite el ajuste grueso para subir y bajar el instrumento hasta el punto de la escala que se quiere calibrar.

Para lograr el ajuste fino se construyó un cilindro de vidrio de 1 cm de diámetro y 20 cm de largo que se sumerge en el fluido patrón y cuyo nivel de inmersión se regula por el usuario en forma mecánica a través de un disco acoplado a un sistema de poleas y engranajes, como puede verse en la Figura 2. La variación del nivel de inmersión del cilindro permite regular el nivel del líquido en el recipiente, logrando así el ajuste final del punto de calibración; este ajuste es del orden de unos 3 mm aproximadamente.

Diseño del recipiente

Considerando las dimensiones de los aerómetros que comúnmente llegan al laboratorio para calibrar y en base a especificaciones (ASTM, 1995; UNIT, 2002), se determina que las dimensiones máximas esperadas para los aerómetros son:

- hv: altura del vástago del aerómetro \rightarrow 20 cm
- hd: longitud total del cuerpo del aerómetro (incluyendo el vástago) \rightarrow 37 cm

Las calibraciones se realizan por lo general en tres puntos a lo largo de la escala: al 10 %, 50 % y 90 %.

En los extremos, 10 % y 90 %, se obtienen las siguientes conclusiones:

- En el punto de menor densidad calibrado, 10 % escala, el aerómetro se encuentra mayormente sumergido, por lo que se debe determinar la profundidad del líquido de calibración con un margen adecuado para permitir la calibración en ese punto. Se considera que una profundidad igual a hd es suficiente para cumplir con el requerimiento.
- En el punto de mayor densidad calibrado, 90 % escala, el vástago del aerómetro se encuentra mayormente afuera del líquido de calibración, por lo que debe considerarse que el largo total del recipiente debe ser tal que al restarle la altura de líquido la dimensión disponible sea mayor que hv.

Por lo expuesto, se concluye que la altura mínima total del recipiente debe ser 57 cm, y se opta por una construcción de 65 cm de largo y una profundidad de líquido de 40 cm, como una opción conservadora que atiende dimensiones de aerómetros que no se hayan tenido en cuenta.

Para determinar el diámetro del recipiente se consideraron las dimensiones estándar que ofrecen los tubos de vidrio disponibles en plaza, a partir de los cuales se construiría el recipiente. El tubo de vidrio de mayor dimensión disponible define un diámetro externo del equipo de 10 cm con un ancho de pared de 2 mm. El siguiente en dimensión permite un diámetro interno de 7,6 cm –el diámetro interno del equipo– en el cual deben disponerse el aerómetro a calibrar, el cilindro con el cual se efectuará el ajuste fino y el pt100 que se utiliza para medir la temperatura con alta exactitud.

De lo anterior se desprende que el espacio anular de la camisa tiene un ancho de 8 mm; por dicho espacio circulará el flujo de agua de termostatación de la camisa.

En cuanto a las entradas y salidas de flujo en la camisa, se optó por una disposición en que las entradas se encuentran en la base del equipo y las salidas en la parte superior de éste. Las dos entradas (y las dos salidas) tienen direcciones opuestas entre sí, de manera que se pretende que el camino que sigue el fluido sea envolvente y ascendente, evitando que se generen caminos preferenciales con los gradientes de temperatura y los gradientes de densidad que esto ocasionaría.

Posteriormente, un estudio de homogeneidad del contenido del recipiente permite verificar si se ha logrado la meta propuesta con el diseño.

Se diseñó además una tapa de teflón para cerrar el recipiente y mantener el aire confinado dentro de éste y la porción de vástago emergente a la misma temperatura que el fluido de calibración. Esta tapa resulta de gran importancia si se desea utilizar Tridecano en lugar de agua adicionada con tensoactivo como fluido de calibración. El Tridecano es irritante de las mucosas y se debe proteger al operario de los vapores que se generen al trabajar con él. Se recomienda situar el equipo en campana para este tipo de manipulación, ya que el Tridecano puede formar mezclas explosivas con el aire.

También se verifica que para el Tridecano el coeficiente de variación de la densidad con la temperatura es mayor que el correspondiente al agua destilada, tornando más crítico el control de temperatura cuando se trabaja con este fluido como patrón.

La tapa debe contener una serie de puertos destinados a:

- Entrada en el recipiente del hilo del cual se cuelga el aerómetro de la balanza.
- Entrada en el recipiente del hilo que suspende el cilindro de ajuste fino y lo conecta con su sistema de ajuste de nivel de inmersión.
- Entrada en el recipiente del pt100 que se utiliza para medir la temperatura del fluido patrón.

Para facilitar el trabajo con los hilos se decidió la construcción de una fina ranura de unos 3 mm en el diámetro, cortando el borde y hasta un pequeño hoyo en el centro de ésta, donde debe centrarse el instrumento a calibrar. Se deben tomar precauciones al trabajar con Tridecano, minimizando el intercambio a través de la ranura.

Determinación del régimen de funcionamiento del equipo

Se tiene registro de que la temperatura ambiente en el laboratorio varía, a lo largo del año, en un rango comprendido entre 19 y 21 °C. Se desea mantener la temperatura en el líquido de calibración en $(20 \pm 0,03)$ °C. Sobre estos datos, los de dimensionamiento del equipo y material de construcción se plantean las ecuaciones de transferencia de calor y se resuelve el sistema para funcionamiento en régimen.

Fijando la temperatura del líquido en la camisa se puede determinar el flujo de agua necesario para cumplir con el servicio, o viceversa, definiendo el flujo de agua se plantea la solución del sistema para calcular la temperatura de seteo del baño que se utiliza para recirculación de agua en la camisa.

Se prefiere fijar el flujo de agua y calcular la temperatura de seteo. Esto resulta más sencillo, ya que los caudales de agua pueden estar determinados por la bomba disponible en el laboratorio o el equipo

de recirculación del propio baño. Además, se calcula el número de Reynolds para cada caudal de flujo disponible y se elige aquel caudal de flujo que arroje como resultado un Reynolds alto para asegurar flujo turbulento. Así se mejoran los coeficientes de transferencia de calor, y cualquier desestabilización de las condiciones ambientales se logra absorber rápidamente hasta llegar a un nuevo equilibrio. Se debe chequear que este nuevo equilibrio esté dentro de los límites especificados para el líquido de calibración.

Balance de transferencia de calor en el recipiente

$$m \cdot C_p \cdot \frac{dt}{d\Theta} = 0 \Rightarrow Q_{\text{liquido}} + Q_{\text{fondo}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{apateflon}} = 0$$

Donde:

- m: masa de líquido de calibración en el recipiente.
- Cp: calor específico del líquido en el recipiente.
- t: temperatura del líquido en el recipiente.
- Θ : tiempo.
- Q_{liquido} : transferencia de calor entre el líquido y la camisa por la pared lateral.
- Q_{fondo} : transferencia de calor entre el líquido y la camisa a través del fondo del recipiente.
- Q_{aire} : transferencia de calor entre el aire confinado y la camisa en la pared lateral.
- $Q_{\text{apateflon}}$: transferencia de calor a través de la tapa de teflón.

$$Q_{\text{liquido}} = U_l \cdot A_e \cdot \Delta t$$

Donde:

- Ul: coeficiente total de transferencia de calor referido a Ae.
- Ae: área externa lateral del recipiente en sección conteniendo líquido.
- Δt : diferencia global de temperatura entre el contenido del recipiente y el líquido en la camisa.

$$\frac{1}{U_l} = \frac{1}{h_i \left(\frac{A_i}{A_e} \right)} + \frac{D_e}{2 \cdot k} \cdot \ln \left(\frac{D_e}{D_o} \right) + \frac{1}{h_e}$$

Donde:

- hi: coeficiente de película referido a Ai.
- Ai: área interna lateral del recipiente en sección conteniendo líquido.
- K: conductividad térmica del vidrio.
- De: diámetro externo.
- Di: diámetro interno.
- he: coeficiente de película referido a Ae.

Análogamente se plantean las ecuaciones de transferencia de calor y se calculan los coeficientes globales de transferencia de calor para las otras tres superficies de transferencia. Las ecuaciones son similares, con las siguientes diferencias fundamentales: en Q_{aire} debe tenerse en cuenta para el cálculo de hi que el fluido en contacto con la pared interna es el aire; en Q_{fondo} la transferencia ocurre a través de una pared recta por lo que U_f tiene la forma:

$$\frac{1}{U_f} = \frac{l}{h_i} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_e}$$

donde e es el espesor a través del cual se da la transferencia; por último en $Q_{\text{apateflon}}$ U_i tiene la forma de U_f , pero para el cálculo de hi y he el fluido en contacto es el aire y la convección es libre.

Fue necesario realizar algunas suposiciones, ya que no se tienen correlaciones específicas para el cálculo de los coeficientes de película involucrados en los coeficientes globales.

Para el cálculo de las propiedades de los fluidos involucrados se utilizó la temperatura promedio.

Para determinar hi de la superficie en contacto con el agua se utilizó la correlación de Chilton, Drew y Jebens (Geankoplis, 1999), desarrollada para recipientes encaquetados utilizando el factor j de Sieder y Tate, y un N° de Reynolds Modificado ($L^2 \cdot N \cdot \rho / \mu$) para agitación mecánica. Esta correlación es válida hasta N=200 rpm, donde se puede estar introduciendo aire al líquido. Para el cálculo se utilizan las dimensiones de la pastilla magnética como si fueran las de un agitador de paletas planas.

$$\frac{h_j \cdot D_j}{k} = 0.36 \cdot \left(\frac{L^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Donde:

- Todas las propiedades del fluido se evalúan a la temperatura general del fluido, excepto μ_w que se evalúa a temperatura de pared T_{pi} .
- L: longitud en pies de la paleta.
- N: número de revoluciones por segundo.
- D: densidad promedio.
- μ : viscosidad del líquido.
- Dj: diámetro interno del recipiente.

A partir de la ecuación anterior se determina hi, que se utiliza tanto para la transferencia a través de las paredes laterales como del fondo, ya que para esta última situación no existen datos disponibles.

La correlación anterior sirve para calcular el coeficiente en el recipiente, mientras que el coeficiente en la camisa puede determinarse fácilmente para sistema en régimen con la ecuación de Eagle-Ferguson (Geankoplis, 1999), usando para este caso el diámetro equivalente, dado que el flujo por la camisa puede tratarse como flujo de agua en espacio anular.

$$h_e = 150(1 + 0.011 \cdot t) \cdot \frac{v^{0.8}}{D^{0.2}}$$

Donde:

- D: diámetro equivalente en pulgadas.
- v: velocidad de flujo en pie/s.
- he: coeficiente pelicular en Btu/(h.pie².°F).
- t: temperatura de la corriente/°F.

De esta manera se determina he. Para la determinación del coeficiente de película por convección libre del aire que se encuentra confinado encima del líquido dentro del recipiente de calibración se utiliza una ecuación semiempírica (Geankoplis, 1999) que determina los coeficientes de película para placas planas o cilindros verticales.

A partir de los balances anteriores se determina la temperatura en la camisa necesaria para mantener la temperatura en el recipiente en el valor deseado. Para determinar la temperatura de seteo del baño necesaria para mantener la temperatura en la camisa en el valor deseado debe plantearse un balance análogo al detallado, pero para el fluido que circula por la camisa.

Resultados

Para predecir el funcionamiento del equipo se elabora una planilla de cálculo (Figura 3), en la que se ingresan los datos de condiciones ambientales (P, HR y T) y los parámetros de funcionamiento del

equipo (agitación rpm), largo pastilla y flujo de agua por camisa). La planilla arroja como resultado la temperatura del agua en la camisa necesaria para mantener el líquido de calibración a 20 °C. En la Tabla 1 se muestran las condiciones de operación para un conjunto dado de condiciones ambientales determinadas.

Se construye el equipo que se muestra en la Figura 4 y se verifica que las condiciones de operación cumplan con lo esperado.

Se observa que la estabilidad es la deseada, realizándose un estudio de homogeneidad y un estudio de la estabilidad en el tiempo que se resume en la Tabla 2.

calibración estables en un período de tiempo suficiente para llevar a cabo la calibración de densímetros, minimizando así los aportes a la incertidumbre debidos a la estabilidad y homogeneidad del baño. Se observa que las transferencias de calor son bajas a causa de los bajos gradientes térmicos y pequeñas áreas de transferencia, garantizando la estabilidad deseada para poder reducir la incertidumbre del método. Esto era esperable de acuerdo a los balances planteados. Se demuestra que el diseño de equipo es adecuado, ya que se logra disminuir la incertidumbre expandida del método de 0,000088 g/ml a 0,000028 g/ml, tal como se expresa en el artículo publicado en IMEKO 2007, haciendo posible la calibración de aerómetros de precisión.

Condiciones ambientales	Condiciones de operación	Condiciones dentro del recipiente	hi= 551,529 J/(s.m2. °C)	Cálculo de las condiciones de operación
P=101 325 hPa	N= 150 rpm	P=101 325 hPa	he= 18,511 J/(s.m2. °C)	$\sum Q = 0,00847 \text{ J/s}$
H= 50 %HR	Q= 7 litros/ minutos	H= 80 %HR.	hai= 0,21J/(s.m2. °C)	$T_{\text{liq calibracion}} = 20 \text{ °C}$
T= 19 °C	Largo pastilla= 2,2 mm.	T= 20 °C.	hae= 1,12J/(s.m2. °C)	$T_{\text{camisa}} = 20,005 \text{ °C}$

Tabla 1. Resultados calculados.

Referencias

Experimento	Tiempo/ minutos	Estabilidad/°C (Máx-Mín)	Std dev estabilidad/°C	Homogeneidad /°C Máx(Tréf-T)	Std dev homogeneidad/°C
1	6	0,004	0,0016	0,008	0,0013
2	30	0,009	0,005	0,008	0,0038
3	70	0,012	0,005	0,008	0,0068

Tabla 2. Resultados estudio homogeneidad.

Conclusiones

Se comprueba que el equipo funciona de acuerdo a lo esperado y propuesto por el diseño. Los estudios de homogeneidad y estabilidad permiten observar que el sistema ofrece condiciones de

- ASTM INTERNATIONAL (United States). E100: *Standard specification for ASTM hydrometers*. West Conshohocken: ASTM, 1995.
- GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. México: Continental, 1999.
- INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS (Uruguay). UNIT-ISO 649-2: *Density hydrometers for general purposes*. Montevideo: UNIT, 2002.
- SANTO, Claudia; CACERES, Joselaine. Improvement of Cuckow method for calibration of aerometers in LATU. Comparison of the performance of three different liquids as hydrostatic weighing standards. En: *IMEKO*. International Measurement Confederation. IMEKO, (Yucatán 26-28 de noviembre de 2007). Yucatán: IMEKO, 2007.
- SANTO, Claudia; CACERES, Joselaine. Método de Cuckow para la calibración de aerómetros utilizando agua destilada adicionada con un tensoactivo como fluido patrón. En: *CENAM. Simposio Metrología. Mediciones confiables para el desarrollo de México*, (Santiago de Querétaro 25-27 de octubre de 2006). Santiago de Querétaro: CENAM, 2006.

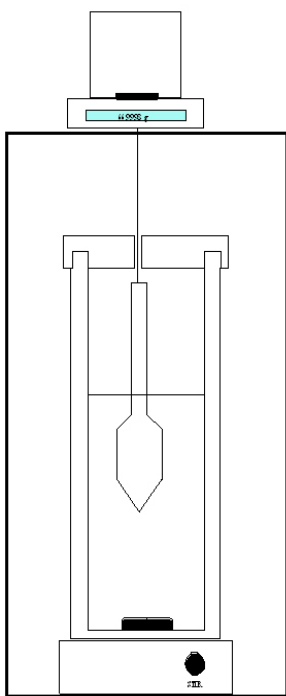


Figura 1. Esquema del equipo de trabajo. Se observa la estructura que ofrece soporte a la balanza y resguardo al recipiente con camisa de termostatación.



Figura 2. Detalle del cilindro de ajuste fino y poleas de ajuste de nivel.

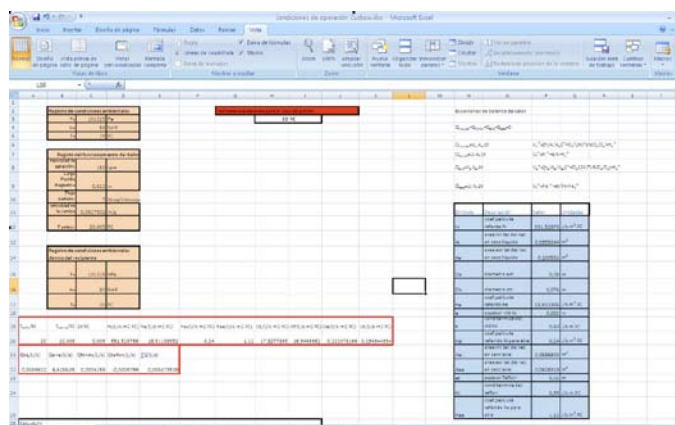


Figura 3. Planilla de cálculo que se utiliza para estimar los coeficientes de transferencia de calor y una rápida estimación de las condiciones de operación cuando varían las condiciones ambientales



Figura 4. Imagen del equipo construido y armado para la calibración de densímetros.

METROLOGÍA

Procedimiento para la caracterización de una celda de punto triple de agua Isotech en el LATU

Robatto, O. ⁽¹⁾, Sica, A. ⁽¹⁾, Santo, C. ⁽¹⁾

Contacto: orobatto@latu.org.uy

⁽¹⁾Departamento de Metrología, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 1/10/2008 - Aprobado: 1/12/2008

Resumen

La realización en el punto triple de agua es crucial para una mejor aproximación a la Escala Internacional de Temperatura (ITS-90), ya que la definición de esta última está directamente vinculada al punto fijo citado. Es necesario conocer la influencia de la presión hidrostática en el punto triple de agua para corregir los valores de resistencia medidos y obtener una mejor aproximación al valor real de la temperatura en dicho punto.

Este artículo describe las dificultades encontradas al estudiar el perfil térmico correspondiente a una celda de punto triple de agua comercial bajo condiciones normales de operación con un baño Dewar termostaticado con hielo picado.

Este trabajo fue llevado a cabo en dos fases: en la primera se detectaron problemas con los perfiles de temperatura, cuyo comportamiento era lejano al ideal. Para mejorar dicho comportamiento se hicieron cambios en el equipamiento, con el fin de minimizar el tiempo de estabilización de la celda y mejorar la transferencia de calor. El aislamiento del baño fue mejorado y se colocó un dispositivo ecualizador de temperatura de cobre en el pozo de la celda. Los resultados se discuten en el presente artículo.

Palabras clave: punto triple de agua, Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90), perfil térmico, presión hidrostática.

Abstract

The Realization of the Triple Point of Water (TPW) is of main importance when approximating to the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), because it is properly involved in its definition. Therefore it is necessary to know the Hydrostatic Pressure influence at the Triple Point of Water to correct the values of resistance measured and to obtain a better approximation of the real temperature of this point. This article shows the difficulties found when studying the thermal profile of one commercial cell of the triple point of water under normal operation conditions in a Dewar thermostatic bath with crushed ice. The work was performed in two phases. In the first phase problems were detected with the temperature profiles, whose behaviors were far away from the ideals ones. To improve this behavior changes were made in the equipment. The isolation of the bath was improved and copper bushing was set up into the well of the cell. Results are discussed in this paper.

Key words: Triple Point of Water, International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), Thermal Profile, Hydrostatic Pressure.

Introducción

Una celda de punto triple de agua es uno de los patrones más importantes para la realización de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90).

El valor teórico definido para el coeficiente de corrección por presión hidrostática para una celda de punto triple de agua en condiciones ideales es de $-0,73 \text{ mK/m}$ [1]. Sin embargo, se ha observado que el comportamiento real de las celdas de punto triple de agua se desvía del valor teórico, y que, para la realización del punto triple de agua, es necesario estudiar en cada celda empleada el perfil térmico correspondiente, respecto a la posición del elemento sensor en el pozo de las celdas. Es probable que el apartamiento encontrado se deba a pérdida de flujo de calor por conducción a través de la vaina del elemento sensor con el que se estén efectuando las medidas. Este trabajo se realiza para determinar las curvas de variación de temperatura del elemento sensor versus la posición en el pozo de la celda, y así poder obtener las desviaciones de la curva teórica de corrección por presión hidrostática para las celdas que se emplean como patrones nacionales en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay, de forma de poder efectuar las correcciones necesarias. Esto tiene como consecuencia una mejor aproximación a la Escala Internacional de Temperatura ITS 90 para la calibración de termómetros de resistencia de platino (SPRT) en el punto triple de agua y la determinación de los coeficientes W para la calibración en los otros puntos fijos que posee el laboratorio de termometría.

Materiales y Métodos

Equipos empleados

Celda empleada. La celda empleada fue una de los dos patrones nacionales para la realización del punto triple de agua: celda de punto triple de agua marca ISOTECH modelo número BII 65 561. En la Figura 1 se muestra un esquema de la celda y del termómetro empleado y la posición de los termómetros empleados dentro de la celda.

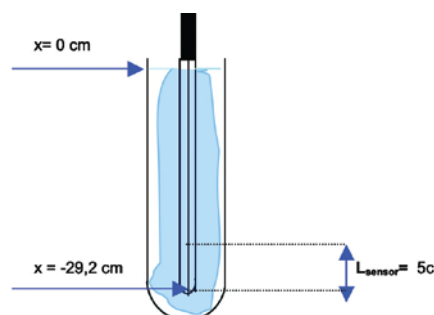


Figura 1. Representación gráfica de la celda de punto triple con SPRT.

Se eligió en primera instancia este patrón porque es el que posee un accesorio metálico que permite eliminar el puente de hielo que se forma en la interfase sólido – líquido – vapor en la parte superior de la celda. Este puente de hielo altera el perfil térmico de la celda y se puede eliminar en forma sencilla mediante este accesorio. Por este motivo se comienza con la caracterización de la celda ISOTECH, previendo en el futuro la caracterización de la otra celda patrón disponible, CENAM 001.

Termómetros empleados. En la primera etapa se emplearon los siguientes termómetros de resistencia de platino estándar (SPRTs):

- Termómetro de resistencia de platino estándar con vaina de cuarzo marca Hart Scientific modelo 5681 número de serie 5-1055.
- Termómetro de resistencia de platino estándar con vaina de cuarzo marca Tinsley modelo 5781 S número de serie 274234.
- Termómetro de resistencia de platino estándar con vaina metálica marca Rosemount modelo 162 CE número de serie 3109.

Debido a los resultados obtenidos, para la segunda etapa se resolvió emplear únicamente el tercer termómetro, con el que se obtuvieron los perfiles con menor distorsión.

Esto es razonable, ya que la vaina metálica tiene conductividad térmica alta, lo que hace que los gradientes de temperatura a lo largo del termómetro correspondan a las variaciones de temperatura en el pozo de la celda.

Instrumentos de medida de resistencia. Para la medida de la relación entre la resistencia de los termómetros de platino en el punto triple y la resistencia patrón utilizada se utilizó un puente de corriente alterna marca ASL modelo F18.

La resistencia patrón empleada fue una de valor nominal 25 ohm marca Tinsley termostatazada en un baño de aceite a 20 °C.

Procedimiento experimental

Preparación de las celdas. La celda se preenfrió en un vaso Dewar con hielo picado durante todo un día, previo a la inducción del manto de hielo introduciendo hielo seco picado (CO₂) en el pozo de la celda. La celda se mantuvo operativa por más de tres semanas, sumergida dentro de un baño con hielo picado y aislada térmicamente en su parte superior con una tapa de material aislante y telas oscuras en ambas etapas.

En la segunda etapa se mejoró el aislamiento colocando una segunda tapa interior de material aislante.

Medida del perfil térmico

En la primera fase, para la determinación del perfil térmico se tomaron lecturas de todos los termómetros (SPRTs) a posiciones igualmente espaciadas de 1 cm cada una desde el fondo del pozo de la celda hasta 6 cm por encima. Para mover los elementos sensores se empleó un soporte metálico como guía, sujeto a la parte superior del baño de hielo utilizado.

En cada una de estas posiciones se tomaron 10 lecturas, empleando como valores de corriente 1 mA y $\sqrt{2}$ mA, para poder extrapolar los valores de la resistencia a 0 mA. Estos últimos son los empleados para el tratamiento de datos y los cálculos.

Para determinar la incertidumbre asociada a los experimentos se realizaron otras seis series de medidas, cambiando la posición de los termómetros entre el fondo del pozo de la celda y la posición de 2 cm por encima del fondo en forma repetida.

Para la segunda etapa de este trabajo, y en vista de los resultados obtenidos, se preparó la celda de punto triple de la misma forma y se introdujeron alternadamente las siguientes modificaciones:

1. Agregado de una tapa adicional de espuma aislante adicional de 2 cm de espesor, igual diámetro que el del termo Dewar empleado.
2. Empleo de un dispositivo equalizador de temperatura o “bushing”, consistente en un tubo metálico de cobre de 5 cm de largo y diámetro externo inferior al diámetro interno de la celda (10 mm), y de diámetro interno superior al diámetro externo al del termómetro de resistencia de platino empleado.

Modelo matemático empleado para la expresión de los resultados

La variación de la temperatura teórica en el punto triple de agua está expresada en la siguiente ecuación:

$$t_{90} = A + B * l \quad (1)$$

Donde:

- A= 0,01 °C, temperatura en el punto triple de agua
- B= coeficiente de corrección por presión hidrostática para el agua pura (-0,73 mK/m)= dT/dh
- l= Profundidad dentro del pozo de la celda del elemento sensor, tomando como posición nula la zona de coexistencia de las tres fases del punto triple de agua (Figura 1).

Para poder llegar a construir la curva teórica que se presenta en los gráficos de las siguientes figuras, se realizó el desarrollo que se expone a continuación:

W_{ref} = polinomio correspondiente a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS 90)
Para 273,15 K <T< 1234,93 K ⁽¹⁾:

$$W_{ref} = C_0 + \sum_{i=1}^{i=9} \left[C_i * \frac{(T_{90} - 714,15)}{481} \right] \quad (2)$$

Donde:

$$C_0 = 2,78157254$$

$$C_1 = 1,64650916$$

$$C_2 = -0,13714390$$

$$C_3 = -0,00649767$$

$$C_4 = -0,00234444$$

$$C_5 = -0,00511868$$

$$C_6 = 0,00187982$$

$$C_7 = -0,00204472$$

$$C_8 = -0,00046122$$

$$C_9 = 0,00045724$$

La función de aproximación al polinomio de la escala ITS 90 para un termómetro de resistencia de platino estándar está dada por la ecuación:

$$W_{med} - W_{Ref} = a * (W_{med} - 1) + b * (W_{med} - 1)^2 \quad (3)$$

Donde:

$$W_{med} = \frac{R_T}{R_{WTP}} \quad (4)$$

Corresponden al cociente las medidas efectuadas de la resistencia en el punto fijo ITS 90 en cuestión y la resistencia en punto triple de agua.

En general *a* y *b* son coeficientes pequeños, a los efectos de realizar las aproximaciones concernientes se puede suponer que:

$$W_{med} \approx W_{Ref} \quad (5)$$

Por consiguiente se pueden realizar las suposiciones que siguen:

$$dW_{med} = \frac{dR_T}{R_{TPW}} \quad (6)$$

$$\frac{dT}{dh} = \frac{dW_{med}}{dh \left(\frac{dW_{ref}}{dT} \right)_{TPW}} = \frac{dR_T}{dh} \cdot \frac{1}{R_{TPW} \left(\frac{dW_{ref}}{dT} \right)_{TPW}} \quad (7)$$

Luego:

$$\frac{dR_T}{dh} = \frac{dT}{dh} \cdot \left(\frac{dW_{ref}}{dT} \right)_{TPW} \cdot R_{TPW} \quad (8)$$

Y la ecuación de la curva de resistencia teórica es:

$$R_x = R_{x_i} + \frac{dR_T}{dh} \cdot (x_f - x_i) \quad (9)$$

Donde $x_i = -0,265$ m corresponde a la posición inicial del elemento sensor en el pozo de la celda y x_f a las distintas posiciones estudiadas espaciadas cada 1 cm, en los gráficos se toma x_i como 0 cm.

Mediante la ecuación anterior se puede construir la curva teórica de variación de la resistencia con la que se comparan los datos experimentales obtenidos.

Resultados

Perfiles térmicos de la celda Isotech

Etapa 1. En la Figuras 2, 3 y 4 se presentan las curvas de resistencia promedio versus posición del termómetro para la celda marca Isotech de los termómetros Tinsley, Hart y Rosemount, respectivamente.

La curva de resistencia vs. posición en el pozo de la celda teórica, considerando únicamente el coeficiente de corrección por presión hidrostática, está expresada en las figuras que siguen a continuación por la línea recta.

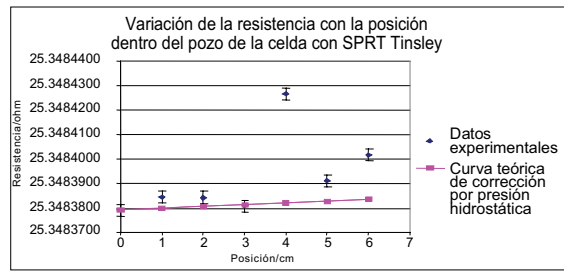


Figura 2. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) vs. posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Tinsley, luego de estabilización, etapa 1.

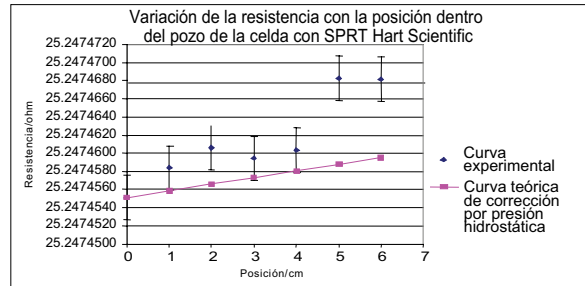


Figura 3. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) vs. posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Hart, luego de estabilización, etapa 1.

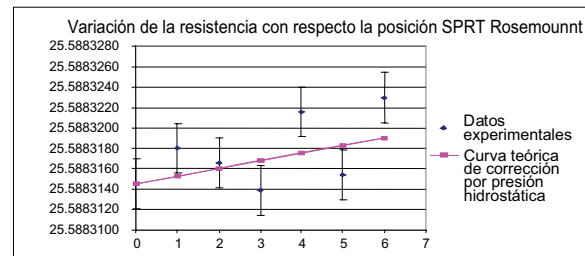


Figura 4. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) vs. posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, luego de estabilización, etapa 1.

Si se comparan los valores obtenidos en las figuras anteriores con respecto a la curva teórica, se observa que:

1. Existen desviaciones importantes con respecto al comportamiento ideal que se espera para una celda de punto triple de agua para los tres termómetros empleados en las determinaciones.
2. El tiempo de estabilización de la celda es demasiado largo para mantener la celda en condiciones óptimas (esto significa tener un manto de hielo apropiado que cubra bien el pozo de la celda). El medio térmico del que se dispone (termo Dewar) tiene sus limitaciones con respecto a otros tipos de baños termostáticos que existen en plaza en cuanto a la transferencia térmica y la estabilidad.

Etapa 2. Introducción de tapa aislante adicional. Se comenzaron a efectuar mediciones a cuatro días de haber realizado el punto triple. La Figura 5 muestra los resultados de la primera medición. El perfil térmico se encuentra completamente desviado con respecto al comportamiento teórico que debería presentar la celda.

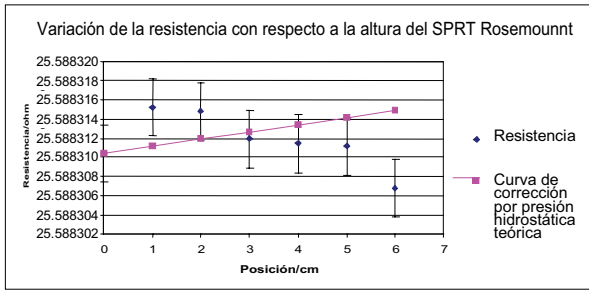


Figura 5. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) versus la posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, luego de cuatro días de haber sido armada, etapa 2.

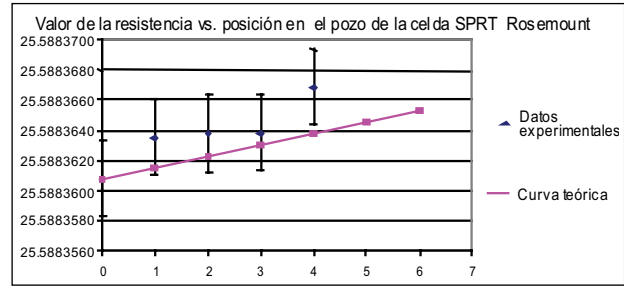


Figura 8. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) versus la posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, primera medida con equalizador, etapa 2.

Si se observa la Figura 6, los datos obtenidos tres días después se acercaron bastante al comportamiento ideal, teniendo en cuenta el valor de incertidumbre asociado al método.

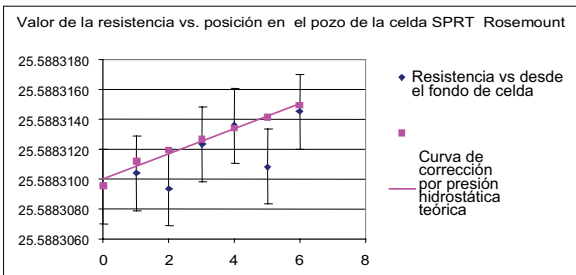


Figura 6. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) versus la posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, etapa 2.

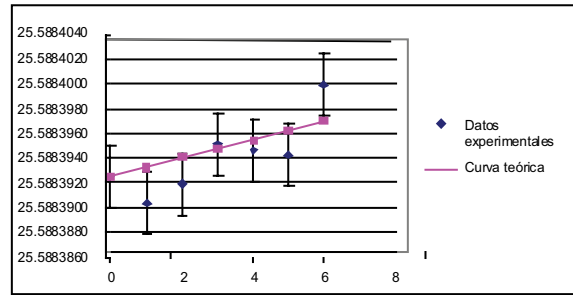


Figura 9. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) versus la posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, segunda medida con equalizador, etapa 2.

Las experiencias que se realizaron antes de introducir el empleo del equalizador o bushing fueron de comportamientos similares al de la Figura 6. La Figura 7 muestra la última experiencia realizada antes de la introducción del equalizador térmico.

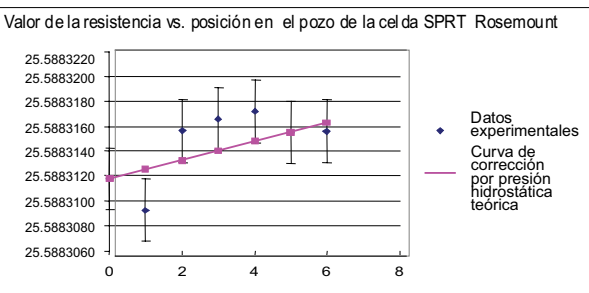


Figura 7. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) versus la posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, última medida sin equalizador, etapa 2.

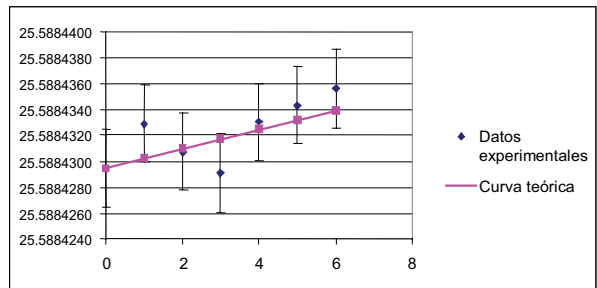


Figura 10. Curva de variación del valor de la resistencia (ohm) versus la posición (cm) desde el fondo del pozo de la celda Isotech medida con SPRT Rosemount, tercera medida con equalizador, etapa 2.

Utilización del equalizador térmico

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran tres series de medidas realizadas empleando el equalizador térmico dentro del pozo de la celda. Si bien existe una mejora en los perfiles térmicos obtenidos, ésta no es tan significativa como la de la primera modificación.

Es importante estudiar este efecto del equalizador con el objetivo de lograr una mejor aproximación al comportamiento ideal.

Expresión de incertidumbre

El valor de la incertidumbre asociada se estima a partir de la repetibilidad del ensayo, variando la posición del termómetro en forma sucesiva entre la posición 0 cm (fondo del pozo de la celda) y 3 cm. No se incluyen componentes de error sistemático debido a que se calcula el valor de la pendiente de una recta empleado (se miden variaciones de temperatura y no temperaturas absolutas). Si se toma en cuenta la división del instrumento de medición de resistencia. La incertidumbre se estima en $\pm 0,030$ mK.

Discusión

Discusión de los resultados para la celda Isotech en la etapa 1

Los resultados obtenidos en el caso de los termómetros Tinsley y Hart demuestran que existe una componente de flujo de calor longitudinal hacia el interior de la celda que distorsiona el perfil térmico medido.

El motivo del apartamiento del perfil térmico obtenido con el termómetro Tinsley es que la celda requiere de unos días de estabilización antes de comenzar a tomar mediciones.

Sin embargo, el perfil térmico de las repeticiones efectuadas para el termómetro Tinsley presenta el mismo comportamiento en los valores obtenidos de resistencia a las distintas posiciones.

Para el termómetro Hart se observa un comportamiento más regular, igualmente el apartamiento es significativo con respecto a la curva teórica. Para el termómetro Rosemount el resultado no se aparta tanto del teórico como en los casos citados anteriormente. Se esperaba que debido a que el termómetro tiene vaina metálica el flujo de calor hacia dentro de la celda fuese mayor que para los otros dos termómetros de vaina de cuarzo, ya que la conductividad térmica de un metal es mayor que la conductividad térmica del cuarzo. El mejor comportamiento puede deberse a haber logrado la estabilización de la celda.

Discusión de los resultados para la celda Isotech en la etapa 2

Los resultados obtenidos en la segunda fase a partir de las modificaciones empleadas llevaron a una mejor aproximación al comportamiento teórico de la corrección por presión hidrostática para el punto triple de agua. Esto es fundamental a la hora de realizar las correcciones correspondientes para expresar resultados en las calibraciones de termómetros de resistencia de platino. La celda se estabilizó en un tiempo menor que en la primera etapa debido a la mejora que se efectuó en la aislación. Esto llevó a que se pudieran realizar más experiencias que permitiesen confirmar la mejoría con las dos modificaciones introducidas.

Conclusiones

Existen dificultades cuando se pretende estudiar detalladamente el perfil térmico por presión hidrostática de cada celda de punto fijo (ITS-90), ya que pueden hallarse desviaciones importantes con respecto al comportamiento ideal. En este caso el proceso se realizó para el punto triple de agua, pero se debe realizar el mismo análisis con el resto de las celdas patrones de puntos fijos ITS-90 que hay en el laboratorio.

Una serie de pequeñas modificaciones introducidas llevaron a resultados significativamente mejores, que permiten afirmar que la celda estudiada tiene un comportamiento que se acerca al comportamiento teórico en las condiciones de ensayo.

Lo efectuado ya con el termómetro Rosemount se debe repetir para el resto de los termómetros de resistencia de platino con vaina de cuarzo.

Reconocimientos

Se agradece a las siguientes personas por sus aportes invaluable para la realización de este trabajo:

Al Ing. Quím. Luis Mussio, por la formación inicial que nos brindó en la disciplina de Termometría y por sus comentarios rigurosos sobre el tema.

A la Dipl. Ing. Ute Noatsch, del Physikalisch Technische Bundesanstalt de Alemania (PTB), quien nos introdujo en los detalles concernientes a la calibración de termómetros estándar de resistencia de platino en puntos fijos ITS-90.

Al Dr. Steffen Rudtsch, del Physikalisch Technische Bundesanstalt de Alemania (PTB), quien hizo hincapié en la necesidad de la caracterización de los patrones que se utilizan en el laboratorio de termometría durante la Peer Review efectuada por el BIPM en el mes enero de 2008.

A Adrián Solano, del Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET), quien nos sugirió el uso de equalizadores.

A David Southworth, de Isothermal Technology Limited (ISOTECH), por la sugerencia acerca del material y de las dimensiones para la construcción del equalizador térmico.

A Jorge Navas, del Departamento de Metrología Científica del LATU, quien suministró el material para la construcción del material del equalizador.

Referencias

- PRESTON-THOMAS, H. The International temperature scale of 1990 (ITS-90). En: *Metrologia*. 1990, (27):3-10.
- SAKURAI, Hirohisa. *Hydrostatic pressure correction coefficient of the triple point cell of water* [En línea]. Cedrex: Bureau International des Poids et Mesures, [s.d.], [Consulta: 27 de marzo de 2008]. (CCT; 05-11). Disponible en: http://www.bipm.org/cc/CCT/Allowed/23/CCT_05_11.pdf

Cambios reológicos del queso Colonia durante el proceso de maduración

Crosa, M. J. ⁽¹⁾, Harispe, R. ⁽²⁾, Márquez, R. ⁽¹⁾, Pelaggio, R. ⁽¹⁾, Repiso, L. ⁽¹⁾, Silvera, C. ⁽³⁾

Contacto: mcrosa@latu.org.uy

⁽¹⁾ Gerencia de Proyectos Alimentarios. Investigación, Desarrollo e Innovación, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) - ⁽²⁾ Naturalia S.R.L. - ⁽³⁾ Universidad Católica del Uruguay Dámaso Antonio Larrañaga (UCU)

Recibido: 26/2/2008 - Aprobado: 15/12/2008

Resumen

El queso Colonia es un queso típico uruguayo, elaborado según los criterios de calidad y tradición quesera de los inmigrantes suizos radicados en la cuenca lechera del departamento de Colonia. En la actualidad no se reporta información publicada acerca de los cambios reológicos que ocurren en el queso durante su maduración. Su investigación y publicación aportan conocimiento para la difusión de un proceso que aún no presenta denominación de origen protegida.

En el presente trabajo se midieron los cambios reológicos mediante el ensayo de relajación-compresión, durante el proceso de maduración realizado a 8 °C y 85 % de humedad relativa hasta el día 13. Los resultados obtenidos manifiestan la existencia de un cambio importante del comportamiento a partir del día 11 de maduración, momento en que ocurre un notorio ablandamiento del queso. Esto concuerda con la práctica industrial que tradicionalmente realiza el cambio de los quesos para continuar su maduración en cámara caliente a partir del onceavo día.

Este estudio demuestra la importancia de esperar hasta el onceavo día para asegurar la elasticidad necesaria en el queso para una adecuada formación de ojos en la cámara caliente.

Palabras clave: queso Colonia, maduración, reología de quesos, compresión, relajación.

Abstract

“Colonia” cheese is a typical Uruguayan cheese, elaborated following the quality standards and cheese making tradition of the swiss immigrants established at the uruguayan department of Colonia and surroundings. Actually there is no available information about the rheological changes that happen in this kind of cheese during its ripeness. The study and publication of this process (which does not present a protected designation of origin (DOP) yet) gives knowledge for its spread.

Rheological changes were analyzed with the stress relaxation test along the ripeness process made at 8 °C and a humidity of 85 % until the 13th day. The results indicate that an important performance change exists after the 11th ripeness day, where a remarkable tenderness change takes place. This result allows to confirm the importance of letting the ripeness run at low temperatures for at least 11 days ensuring the necessary elasticity for eye formation, consistent with the industrial practice that changes environmental conditions of ripeness (temperature and relative humidity) at the eleventh day of the production.

Keys words: cheese ripeness, rheology, stress-relaxation test

Introducción

El queso Colonia es un queso típico uruguayo, elaborado según los criterios de calidad y tradición quesera de los inmigrantes suizos radicados en la cuenca lechera del departamento de Colonia. En la actualidad no se reporta información publicada acerca de los cambios reológicos que ocurren en el queso durante su maduración. Su investigación y publicación aportan conocimiento para la difusión de un proceso que aún no presenta denominación de origen protegida.

La textura del queso es un parámetro importante para su clasificación y apreciación de su calidad. La textura depende del proceso de elaboración desde sus primeras etapas. Si se divide finamente la cuajada, se promueve el desuerado que va influir en la textura final. Similar efecto se observa si se prolonga la agitación de la cuajada en el suero o aumentando la temperatura de cocción. Una vez que la estructura básica se ha formado, el proceso de maduración genera la textura final del queso. Este proceso está influenciado por su tamaño, forma y condiciones de maduración, principalmente por el tiempo, temperatura, humedad, bacterias y enzimas presentes. La humedad, el contenido graso, el grado hidrólisis de la lactosa, grasa y proteínas definen el comportamiento reológico del queso. Cada tipo de queso presenta un atributo en textura característico, son posibles atributos los opuestos de “elástico” para el queso Muzzarella, y por “desgranarse” cuando se somete a presión para el queso Parmesano.

Estudios previos (AATA, 1999) aplican diferentes métodos para

medir las propiedades reológicas según el tipo de queso. Por ejemplo, para quesos de pasta dura y semidura se recomienda la compresión uniaxial hasta el punto de fractura. La técnica de compresión-relajación es recomendada para el estudio de las propiedades viscoelásticas, usado ampliamente para quesos italianos.

El queso Colonia se caracteriza por la presencia de ojos en su interior, pasta consistente, algo elástica y de sabor suave. Según la tradición quesera, el proceso de maduración ocurre en cuatro etapas, las primeras 12 - 48 horas son para el oreo de entre 4 - 6 °C, luego 10 - 12 días tienen una estadía en cámaras entre 8 y 11 °C de temperatura. En la tercera etapa, los quesos se someten a temperaturas entre 20 y 24 °C, donde ocurre la formación de los ojos característicos del queso, y por último se vuelven a cámara templada - fría < 10 °C.

Es conocida la necesidad de la industria por acelerar los procesos y disminuir los tiempos de maduración, con el objetivo de disminuir costos. Hasta el momento no existen estudios que justifiquen el periodo de permanencia de los quesos en las cámaras, ni medida de los cambios que ocurren durante este periodo.

El objetivo de este estudio es conocer el cambio de las propiedades reológicas del queso Colonia durante el proceso de maduración en cámara fría. En esta primera etapa del proceso, es importante obtener una masa suficientemente suave y elástica para la futura formación de los ojos. El conocimiento de los cambios en las propiedades reológicas de esta etapa aportará datos relevantes para la definición de las condiciones de maduración del queso Colonia.

Metodología

Se elaboró queso en tina de 1.100 litros de leche pasteurizada, usando como fermentos bacterias Lácticas y Priopiónicas. El cuajo se cortó en granos medios de 6 a 7 mm de diámetro, se agitó durante 15 minutos a 32 °C y se coció a 48 °C durante 30 a 40 minutos. La cuajada se pescó, pre-prensó y se llevó a moldes para quesos de 7 kg peso final. Se prensó durante cuatro horas, rotando el queso cuatro veces. Se saló en tina de salmuera durante 48 horas, se mantuvo en cámara de oreo de 7 °C durante 12 horas y finalmente se pasó el queso a la cámara de maduración.

Se estudió el cambio reológico del queso durante la primera etapa del proceso de maduración, en cámara fría de 8 a 12 °C y 85 % de humedad.

Se realizaron dos experiencias distanciadas en el tiempo para asegurar la independencia de los datos obtenidos. En la primera fase del estudio, desarrollada en 2004, se efectuaron medidas de textura en la zona media del queso en los días 4, 5, 10, 11, 12 y 13 de maduración, mientras que en los estudios confirmatorios de 2007 las muestras fueron tomadas en los días de maduración 1, 6 y 13. Las condiciones de maduración de los quesos fueron 8 °C de temperatura y 85 % de humedad.

Para cada condición se cortaron en la zona media de un queso ocho muestras cilíndricas por queso, de 3.50±0.05 cm de diámetro y 4.00±0.05 cm de altura, se termostataron a una temperatura definida y se aplicó el ensayo de compresión - relajación. La compresión uniaxial fue hasta un 20 % de la altura original de la pieza, con una velocidad de deformación de 50 mm/min con el equipo INSTRON MODELO 1000 y el sistema de adquisición de datos INI-DAQ MX NATIONAL INSTRUMENTS. Se usó el accesorio de compresión de 2.5 cm de diámetro, modelo T372-63. Se midió la variación de fuerza al tiempo "t" (Ft) y la fuerza al inicio de la relajación (Fmax) (AATA, 1999; Sundaram Gunasekaram, 2003).

La metodología seguida fue la misma en ambos ensayos, a excepción de la temperatura de termostatación de la muestra para la medida de textura. En el primer ensayo la temperatura de termostatación de la muestra fue a 12 °C en todos los días de maduración estudiados. En experiencias posteriores se comprobó una disminución de la dispersión del ensayo cuando la temperatura de la pieza se acerca a la temperatura ambiente. Por lo tanto, en el segundo ensayo se aumentó la temperatura de termostatación de la muestra a 18 °C. La diferencia de temperatura de las piezas durante el ensayo no permite un análisis conjunto de los resultados, debido a la gran dependencia de la medida con la temperatura. Sin embargo, es posible comparar entre sí la similitud de las tendencias.

Resultados y Discusión

En los Gráficos 1 y 2 se presentan las curvas de relajación, expresadas como la relación de la fuerza al tiempo "t" (Ft) y la fuerza al inicio de la relajación (Fmax). En estos gráficos se observa un comportamiento similar en los días de maduración 1 al 10, pero a partir del décimo día de maduración ocurre un cambio en las curvas de relajación de los quesos.

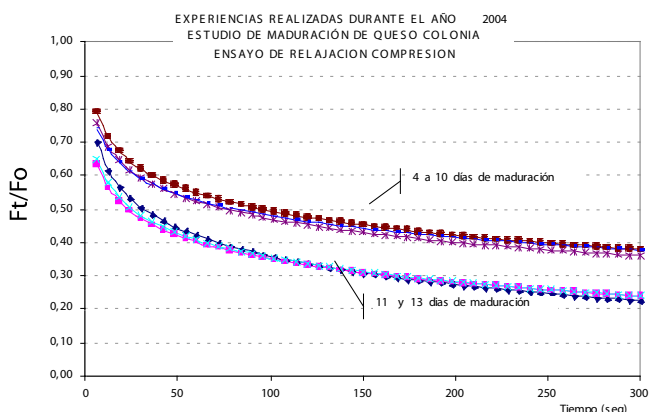


Gráfico 1. Curva de relajación-compresión en diferentes días de maduración durante el primer ensayo.

ESTUDIO DE MADURACION DE QUESOS COLONIA
ENSAYO DE RELAJACION - COMPRESION
EXPERIENCIAS 2007

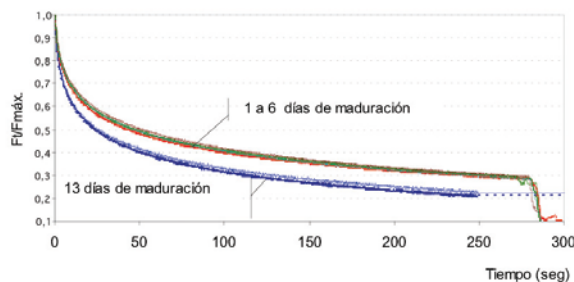


Gráfico 2. Curva de relajación-compresión en diferentes días de maduración durante el segundo ensayo.

Con el objetivo de cuantificar los cambios visualizados, se normalizan las curvas obtenidas en la ecuación: $(F_{max} * t)/(F_{max} - Ft) = K1 + K2*t$ (Peleg and Normand, 1983). En el Gráfico 3 se presentan las curvas obtenidas. El valor de K1 representa la velocidad del decaimiento inicial de la fuerza, y el valor de K2 corresponde con el valor asintótico de la fuerza normalizada. En la Tabla 1 se informan los valores obtenidos de ambas experiencias.

NORMALIZACION DE LA FUERZA
ENSAYO COMPRESION - RELAJACION

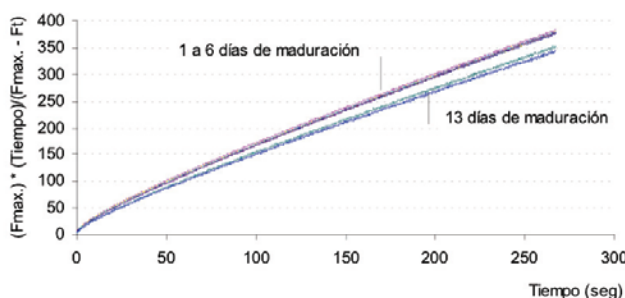


Gráfico 3. Normalización de las curvas obtenidas según ecuación Peleg and Normand, 1983.

NORMALIZACIÓN DE LA FUERZA según Peleg and Normand, 1983			
		K1 (seg)	K2
Temperatura = 12 °C Ensayo relajación compresión	Días de maduración 4,5 y 10	29 ± 4	1.59 ± 0.04
	Días de maduración 11,12 y 13	20 ± 4	1.31 ± 0.04
Temperatura = 18 °C Ensayo relajación compresión	Días de maduración 1 y 6	30 ± 2	1.33 ± 0.01
	Día de maduración 13	25 ± 2	1.22 ± 0.01
Intervalo de confianza al 95 % de la media			

Tabla 1. Resultados obtenidos por normalización fuerza ecuación Peleg and Normand, 1983.

Los valores de K1 y de K2 entre los días 1 a 10 de maduración no presentaron diferencias significativas con un intervalo de confianza al 95 % de la media. Tampoco se detectaron diferencias significativas de las constantes entre los días 11 al 13. Sin embargo, se detecta diferencia significativa al 95 %, entre los valores del día 10 y 11, en la experiencia realizada durante 2004, tendencia confirmada en 2007.

En el Gráfico 4 se presentan los valores de fuerza máxima obtenidos durante las experiencias de 2007, observándose también una disminución significativa de la fuerza en el día 13, que se relaciona con la disminución de dureza del queso.

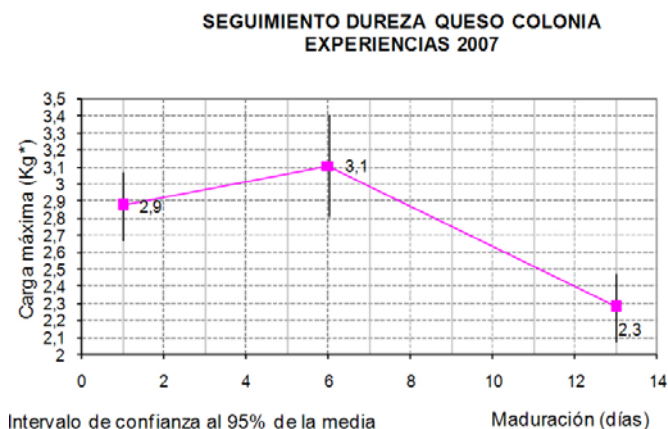


Gráfico 4. Seguimiento de la dureza del queso Colonia durante su maduración.

Conclusiones

Las propiedades reológicas del queso Colonia durante la maduración no presentan cambios significativos en los primeros 10 días de estadía en la cámara fría a 8 °C y 85 % humedad relativa. Sin embargo, a partir del día 11 de estadía ocurre una significativa disminución de la dureza y elasticidad. Este es un cambio muy positivo y necesario para la futura formación de ojos en el queso en la cámara caliente.

Los resultados de este estudio informan la importancia de esperar hasta el onceavo día para cambiar los quesos a la cámara caliente.

Reconocimientos

- Programa de Desarrollo Tecnológico. Ministerio de Educación y Cultura, Uruguay.
- Téc. Lech. Pablo Wurth, Jefe de Planta de Elaboración, Naturalia S.R.L.
- Bach. Quím. M. Inés Dios, analista de laboratorio.
- LATU: Centro de Información Técnica.
- LATU: Departamento de Productos Lácteos, Cármicos, Hortifrutícolas y de la Colmena.

Referencias

- ASOCIACIÓN ARGENTINA DE TECNÓLOGOS ALIMENTARIOS. *1er. Seminario Internacional y Workshop. Análisis Sensoriales de los Alimentos: octubre 13-15 de 1999.* Buenos Aires: AATA, 1999.
- GONZÁLEZ VIÑAS, Miguel Ángel, et al. Relationship between sensory and instrumental measurements of texture for artisanal and industrial manchego cheese. En: *Journal of Sensory Studies.* 2007, 22(4):462-476.
- GUNASEKARAN, Sundaram, AK, M. Mehmet. *Cheese Rheology and Texture.* Boca Raton: CRC Press, 2003.
- PELEG, M.; NORMAND, M.D. Comparison of two methods for stress relaxation data representation of solid foods. En: *Rheologica Acta.* 1983, (22):108-113.
- STEFFE, James F. *Rheological methods in food process engineering.* 2a ed. Michigan: Freeman, 1996.

Elaboración, caracterización y comparación de películas comestibles en base a aislado de proteínas de suero lácteo (WPI)

Escobar, D. ⁽¹⁾, Márquez, R. ⁽¹⁾, Repiso, L. ⁽¹⁾, Sala, A. ⁽²⁾, Silvera, C. ⁽²⁾

Contacto: rmarquez@latu.org.uy

⁽¹⁾ Gerencia de Proyectos Alimentarios. Investigación, Desarrollo e Innovación, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) - ⁽²⁾ Universidad Católica del Uruguay

Recibido: 26/02/2008 - Aprobado: 9/12/2008

Resumen

El incremento del interés en alimentos de alta calidad con mayor vida útil y un menor impacto a nivel ambiental ha llevado al estudio y desarrollo de películas y coberturas comestibles y/o biodegradables. Éstas son una excelente alternativa de empaque de alimentos por su carácter biodegradable, flexible y su poder para actuar como envases activos. En base a esto y a la gran producción lechera en Uruguay, en el presente trabajo se elaboraron y estudiaron películas en base a WPI, como una alternativa de uso de los subproductos de la industria láctea de alto valor agregado.

Algunos plastificantes como glicerol y sorbitol modifican las propiedades de las proteínas insertándose dentro de su estructura tridimensional, y utilizados en pequeñas cantidades introducen cambios significativos.

El objetivo del presente trabajo fue la elaboración, caracterización y comparación de películas comestibles según sus propiedades mecánicas de tensión. Para ello se utilizaron dos concentraciones distintas de WPI (8 % y 10 %) y tres proporciones de WPI/plastificante: 1,6/1; 2,0/1 y 2,3/1.

La disminución tanto de la cantidad de proteína como de plastificante en las películas produjo un aumento de las fuerzas y stress máximos y a la ruptura. Las películas más elásticas se obtienen con la mayor cantidad de plastificante estudiada (1,6/1), obteniéndose una elongación de hasta un 60 % con un 8 % de WPI en la película. Las películas realizadas con sorbitol presentan mayores fuerzas y tensiones que las de glicerol, manteniéndose en ambos casos la tendencia a la disminución de dichas propiedades con el aumento de plastificante. La elasticidad aumenta a mayor proporción de cualquiera de los plastificantes estudiados y las películas que contienen glicerol son más elásticas que las que contienen sorbitol.

Palabras clave: Película biodegradable, plastificante, fuerza, stress, elongación, módulo de Young.

Abstract

Increasing interest in high-quality food products with increased shelf life and reduced environmental impact has encouraged the study and development of edible and/or biodegradable films and coatings. These are an excellent alternative for food products packaging due to their biodegradable, flexible and active packaging characteristics. According to this and the large uruguayan milk production in this work WPI films were made and studied.

By other side, plasticizers as glycerol and sorbitol change the protein's properties because they easily insert within the three-dimensional protein network, and used at low levels make significant changes.

The objective of the present work was to manufacture, characterize and compare edible films by their mechanical properties. For that two different WPI concentrations were used (8 % and 10 %) and three different WPI/plasticizer ratios: 1,6/1; 2,0/1 and 2,3/1.

The lower protein or plasticizer concentration in the films led an increase of maximum load, force at break and tensile strength at maximum and at break. The higher elongation of a 60 % was obtained with the greater quantity of plasticizer (ratio 1,6/1) and with an 8 % of WPI in the film. The mechanical properties of biofilms were compared using three ratios of WPI/plasticizer. The films made with sorbitol had bigger forces and tensile strength than those with glycerol, and with both plasticizers the higher quantity of them led a lower force and tensile strength. The elasticity reases to a greater proportion of any of the studied plasticizers. The films made with glycerol as plasticizer are more elastic than the sorbitol ones.

Key words: Edible film, plasticizer, force, stress, elongation, elastic modulus.

Introducción

Las películas comestibles están adquiriendo importancia como alternativa de empaque de alimentos por su carácter biodegradable y flexible, conjuntamente con la ventaja del agregado de aditivos que pueden mejorar la calidad y vida útil de los mismos. Los films producidos con aislado de proteínas lácteas (WPI) son excelentes candidatos por sus características funcionales y nutricionales, pues presentan buenas propiedades mecánicas y de barrera al oxígeno. Los plastificantes modifican las propiedades de las proteínas y en pequeñas cantidades introducen cambios significativos en las propiedades

físicas y mecánicas de las matrices. Tanto el glicerol como el sorbitol reducen los enlaces internos de hidrógeno, aumentando el espacio intermolecular. Por este motivo se estudia y compara la influencia de ambos plastificantes en películas realizadas en base a aislado de proteínas de suero lácteo.

Objetivos

Elaboración, caracterización y comparación de films comestibles en base a dos concentraciones distintas de aislado de proteínas de suero lácteo (WPI), utilizando glicerol o sorbitol como plastificantes, en distintas relaciones WPI/plastificante.

Objetivo específico 1: Elaboración, caracterización y comparación de films comestibles realizados a base de WPI y glicerol como plastificante, estudiando las propiedades mecánicas de tensión. Para estos estudios se tomaron como variables la concentración proteica del WPI (8 % y 10 %), las relaciones WPI/glicerol (1.6/1; 2.0/1 y 2.3/1) y dos rangos de espesores (0.124 ± 0.010 mm y 0.150 ± 0.010 mm).

Objetivo específico 2: Ídem objetivo específico 1, pero utilizando como plastificante sorbitol.

Objetivo específico 3: Comparación de las propiedades estudiadas en los films elaborados para el cumplimiento de los objetivos específicos 1 y 2.

Materiales y Métodos

Preparación de los films

Los films se prepararon a partir de soluciones de WPI (proteína aislada de suero lácteo PROVON® 290, 90% p/p de Glanbia Nutritionals, WI, USA) en agua destilada utilizando como plastificantes glicerol (J.T. Baker) y sorbitol (Roquette Vic S.A., Francia). Se prepararon soluciones al 8 % y 10 % de WPI, y a cada una de ellas se le incorporó plastificante de manera tal de obtener las relaciones WPI/plastificante: 1,6/1; 2,0/1 y 2,3/1. Se agitaron una hora por agitación magnética, se ajustó el pH a 7,0 con solución de NaOH 2N o HCl 2N, según el caso. Se colocaron en baño de agua a 83 ± 1 °C, el tiempo necesario para lograr un buen entrecruzamiento de las proteínas sin llegar a su coagulación. Los tiempos empleados fueron 10 minutos para las soluciones al 8 % de WPI y 7 minutos para las soluciones al 10 % de WPI. Al final de dichos tiempos se ajustó el peso de manera de mantener las condiciones iniciales. Cada solución fue preparada por duplicado. Se colocaron las soluciones en placas de petri de poliestireno de 14 cm de diámetro interno (Greiner Bio-One), de forma de que no aparecieran burbujas y manteniendo constante la cantidad de sólidos. Se secaron los films durante 19 horas a 23 ± 2 °C y 55 ± 5 %HR, se despegaron de las placas y se acondicionaron a temperatura y humedad de cuatro a siete días para la realización de todos los ensayos.

Espesor de las películas

Se midió con micrómetro digital Digi Thickness Tester, de Toyoseiki, Japón, con una resolución de 1 μ m. Se expresó como el promedio de 10 medidas tomadas aleatoriamente en los films ya cortados y acondicionados para la realización del ensayo.

Ensayos mecánicos

Se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D 882-02.

Se cortaron los films en forma de probetas de 10 mm de ancho con un cortador de muestras neumático (Toyoseiki de Japón). Se midieron los espesores según lo descrito y se separaron en dos grupos según su espesor (0.124 ± 0.010 mm y 0.150 ± 0.010 mm). Posteriormente se realizaron los ensayos de tracción en un equipo Shimadzu Autograph AG-2000A. Se utilizó una separación de mordazas de 50 mm y se aplicó una velocidad de 50 mm/min. Se realizaron de cinco a ocho ensayos para cada tipo de film preparado en cada uno de los rangos de espesores. De los ensayos de tracción realizados se determinaron los siguientes parámetros: fuerza máxima, fuerza a la ruptura, stress máximo, stress a la ruptura, porcentaje de elongación y módulo de Young.

Resultados y Discusión

FILMS REALIZADOS CON GLICEROL COMO PLASTIFICANTE

Fuerza máxima y fuerza a la ruptura

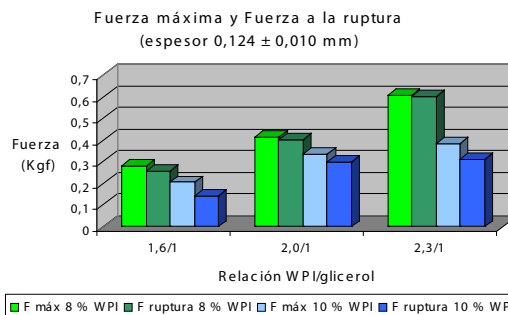


Gráfico 1. Comparación de fuerzas máximas y a la ruptura. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

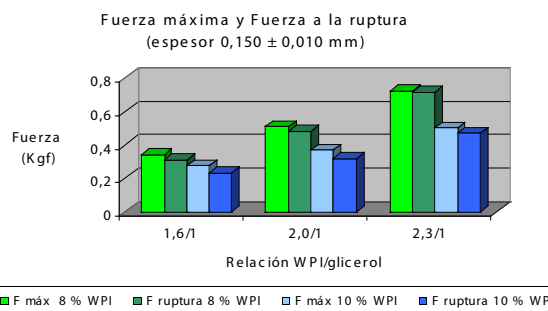


Gráfico 2. Comparación de fuerzas máximas y a la ruptura. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- Tanto en el Gráfico 1 como en el Gráfico 2 se observa la tendencia a la disminución de las fuerzas máximas y de ruptura con el aumento del porcentaje de proteína en los films, manteniéndose en todas las relaciones WPI/plastificante. Habiéndose realizado test de hipótesis al 95 % de confianza (t de student), se comprueba que son estadísticamente diferentes los valores en los casos estudiados con espesor 0.124 ± 0.010 mm con relaciones de 1.6/1 y 2.3/1, y con los espesores 0.150 ± 0.010 en las relaciones 2.0/1 y 2.3/1. En los dos casos que no se pudieron comprobar estadísticamente los resultados (casos con espesor 0.124 ± 0.010 mm de los films con 10 % WPI y relación 2,3/1), puede haberse debido a que se trabajó con un número menor de muestras por rotura inadecuada de algunos films en los ensayos.
- En todos los casos se observa un aumento de las fuerzas máximas y de ruptura con el aumento de la relación WPI/glicerol, o sea con la disminución de plastificante. Esto se comprueba estadísticamente al 95 % de confianza en los casos estudiados, siendo la única excepción el de 10 % WPI entre las relaciones 2.0/1 y 2.3/1 para el espesor de 0.124 ± 0.010 mm, presumiéndose el mismo motivo mencionado anteriormente para este caso.
- La mayor fuerza soportada por los films estudiados fue de 0.72 Kgf y se obtuvo con la relación 2.3/1 WPI/glicerol y con un 8 % de WPI, en el espesor de 0.150 ± 0.010 mm [lo que concuerda con lo estudiado por Longares et al. (2004), Cuq et al. (1996) y Sobral (2000), quienes encontraron que la fuerza aumenta con el espesor del film].

Stress máximo y stress a la ruptura

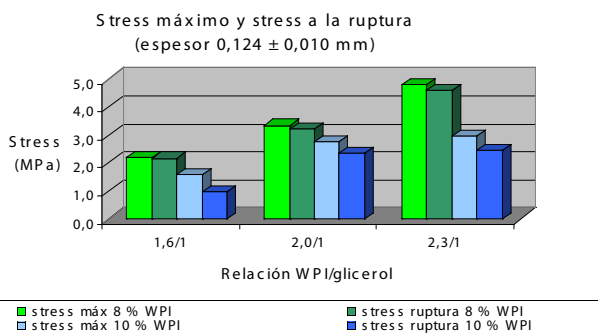


Gráfico 3. Comparación de stress máximo y a la ruptura. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

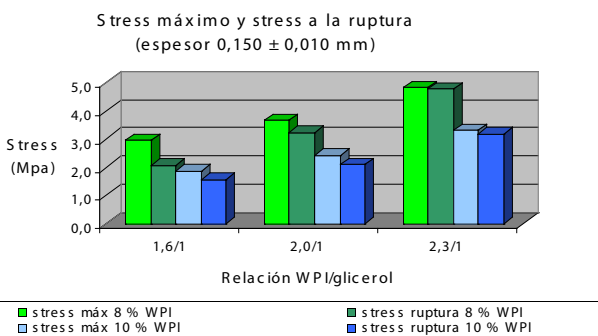


Gráfico 4. Comparación de stress máximo y a la ruptura. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- En los Gráficos 3 y 4 se observa una tendencia a la disminución de los stress máximos y a la ruptura con el aumento del porcentaje de proteína en los films, manteniéndose en todas las relaciones WPI/plastificante, al igual de lo que se vio para el estudio de las fuerzas máximas y de ruptura.
- En todos los casos se observa un aumento de los stress máximos y a la ruptura con el aumento de la relación WPI/glicerol, o sea con la disminución de plastificante. Los estudios estadísticos para los stress desprenden los mismos resultados que para las fuerzas.
- El mayor stress soportado por los films estudiados fue de 4,8 MPa y se obtuvo con la relación 2.3/1 WPI/glicerol y con un 8 % de proteína en ambos espesores analizados. Esto concuerda con lo hallado por Longares et al. (2004), donde se llega a la conclusión de que no hay diferencias significativas en los valores de stress con los distintos espesores. Esto puede ser atribuido a la inclusión del valor del espesor en los cálculos del stress, lo cual produce un efecto de normalización en los resultados con distintos espesores.

Elongación

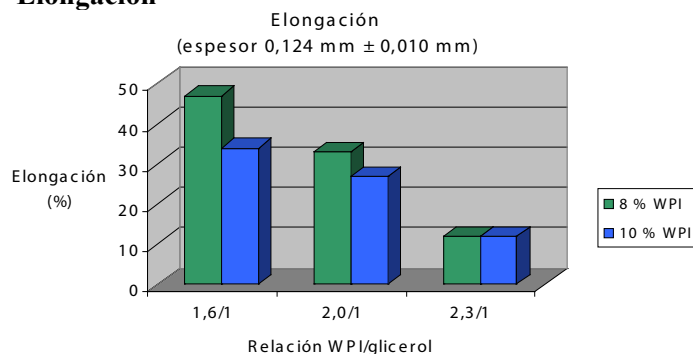


Gráfico 5. Comparación de elongaciones a la ruptura. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

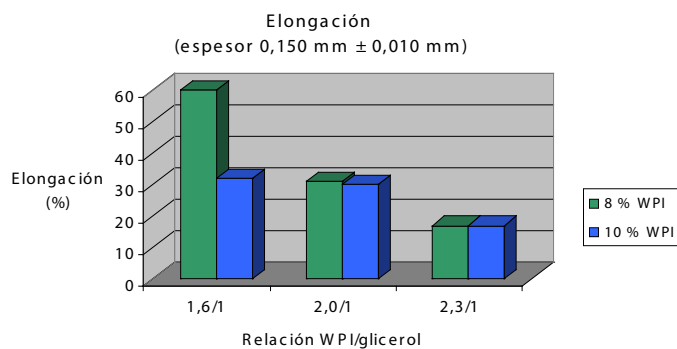


Gráfico 6. Comparación de elongaciones a la ruptura. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- Entre los porcentajes de WPI de 8 % y 10 % no existen diferencias estadísticas al 95 % de confianza en las elongaciones producidas, tal como lo muestran los Gráficos 5 y 6. La única excepción se produce en los films con 8 % WPI, relación 1.6/1 y espesor 0.150 +/- 0.010 mm.
- Se presenta una tendencia a que los films con mayor cantidad de plastificante poseen mayor elongación. A esta misma conclusión arribó Sobral (2000). Esta tendencia se comprueba al 95 % de confianza en todas las relaciones en los films con 8 % WPI (espesor 0.124 ± 0.010 mm) y entre las relaciones 1.6/1 y 2.0/1 en los films con 10 % WPI (espesor 0.150 ± 0.010 mm)
- Los films más elásticos (con una elongación de un 60 %) fueron los films con 8 % de WPI y con la mayor proporción de plastificante estudiados (1.6/1).

Módulo de Young

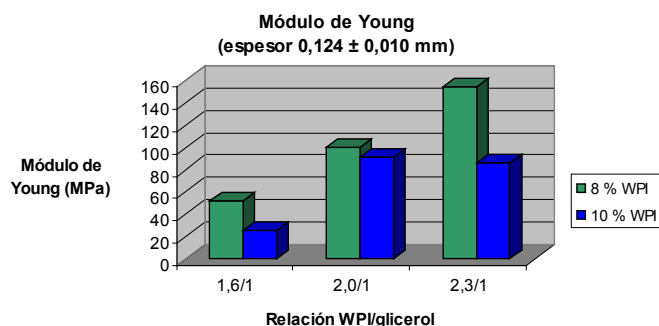


Gráfico 7. Comparación de módulos de Young. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

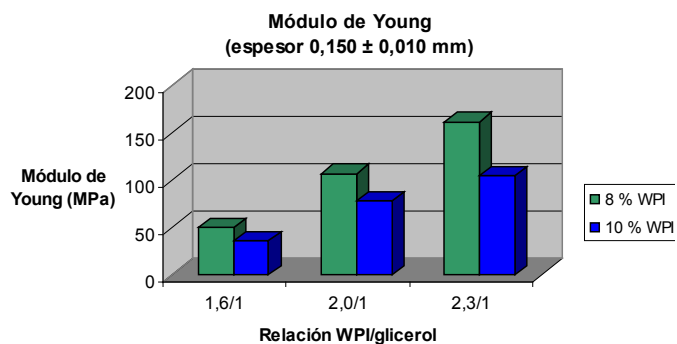


Gráfico 8. Comparación de módulos de Young. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- En los Gráficos 7 y 8 se observa que a mayor proporción de plastificante (relación 1.6/1) el módulo de Young es menor, por lo que los films son más elásticos. Esta relación puede explicarse

porque el glicerol reduce la interacción entre cadenas de proteínas e incrementa la flexibilidad, como lo deduce Sothornvit (2005).

- Dicha relación se comprueba en un 95 % de confianza en los films analizados con espesor 0.150 ± 0.010 mm y en los films al 8 % WPI y todas sus relaciones con espesor 0.124 ± 0.010 mm.
- Se observan diferencias estadísticas entre los films con 8 y 10 % de WPI solo en las relaciones 1.6/1 y 2.3/1 de WPI/glicerol, siendo más rígidos los films con 8 % de WPI (módulos de Young mayores).

FILMS REALIZADOS CON SORBITOL COMO PLASTIFICANTE

Fuerza máxima y fuerza a la ruptura

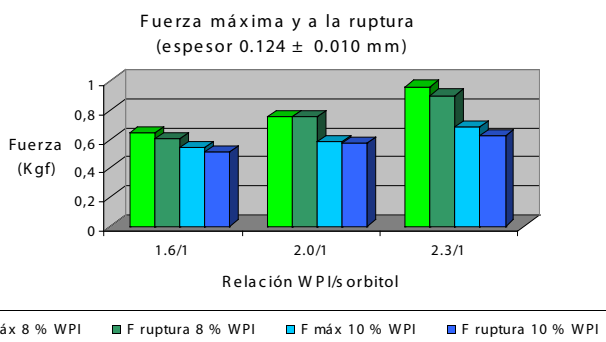


Gráfico 9. Comparación de fuerzas máxima y a la ruptura. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

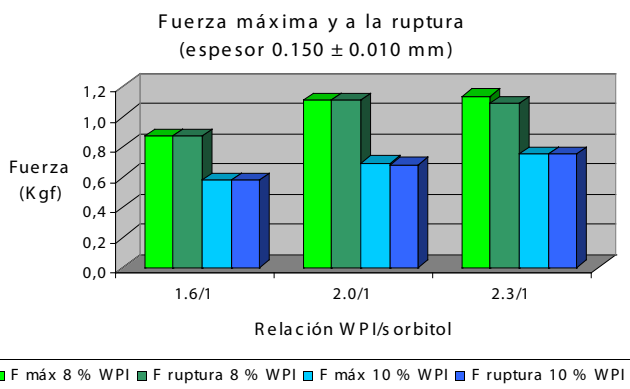


Gráfico 10. Comparación de fuerzas máxima y a la ruptura. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- En los Gráficos 9 y 10 se puede observar una tendencia a la disminución de las fuerzas máximas y de ruptura con el aumento del porcentaje de WPI (del 8 % al 10 %) en todos los films estudiados. Solo se comprueba que son estadísticamente diferentes los valores al 95 % de confianza en los casos estudiados con espesor 0.150 ± 0.010 mm; y con espesor 0.124 ± 0.010 mm únicamente en la relación 2.3/1. En los casos que no se pudieron comprobar estadísticamente los resultados, pudo haberse debido a altas desviaciones estándares en los resultados obtenidos. Esta misma tendencia fue la que se obtuvo al utilizar glicerol como plastificante en las mismas relaciones y los mismos espesores.
- Al aumentar la proporción de plastificante (1.6/1), se observa una menor fuerza máxima y fuerza de ruptura. Esto se comprueba estadísticamente con diferencias significativas a un 95 % de confianza entre las relaciones 1.6/1 y 2.3/1 en ambos

rangos de espesores cuando se utiliza un 8 % de WPI, así como en el rango de espesores 0.150 ± 0.010 mm se verifica diferencia estadística entre las relaciones 1.6/1 y 2.0/1 en el mismo porcentaje de proteína.

Esta misma tendencia se detectó al utilizar glicerol como plastificante utilizando las mismas relaciones y los mismos espesores. En el caso de glicerol, se obtuvo una comparación estadística más clara.

- La mayor fuerza máxima soportada por los films es de 1.14 Kgf (espesor 0.150 ± 0.010 mm) para los films con 8 % WPI y en la relación 2.3/1 WPI/sorbitol. Este resultado concuerda con lo concluido anteriormente, así como con la observación de la tendencia de mayores valores de fuerza a mayor espesor y con lo publicado por Longares (2004), Cuq et al. (1996) y Sobral (2000), quienes encontraron que la fuerza aumenta con el espesor (igual conclusión que para el caso estudiado con glicerol como plastificante).

Stress máximo y stress a la ruptura

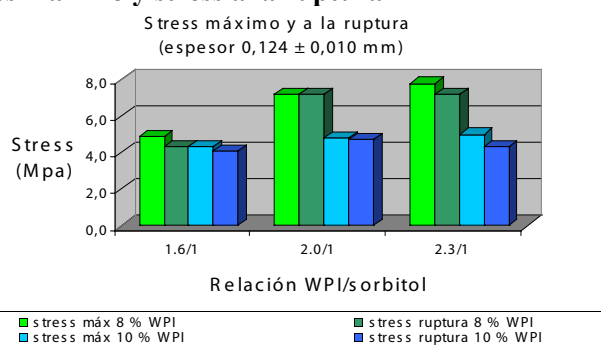


Gráfico 11. Comparación de stress máximo y a la ruptura. Espesor 0.124 ± 0.010 mm

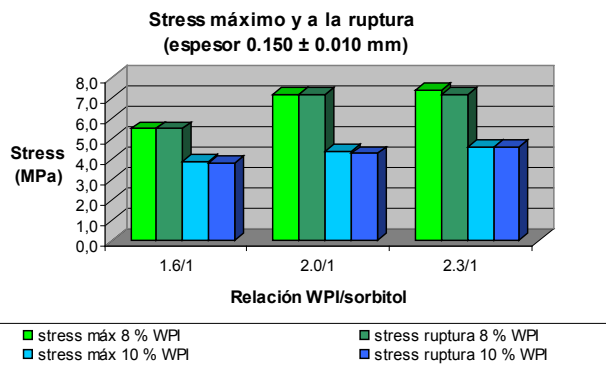


Gráfico 12. Comparación de stress máximo y a la ruptura. Espesor 0.150 ± 0.010 mm

- Los Gráficos 11 y 12 muestran que los resultados de stress mantienen la misma tendencia que los de las fuerzas, lo cual resulta lógico ya que el stress se define como la fuerza por unidad de área, manteniéndose estas últimas constantes. Estadísticamente los comportamientos son similares a los obtenidos para las fuerzas.
- Esta misma tendencia del aumento de los stress con el aumento de la relación WPI/plastificante (o sea, con la disminución de la proporción de plastificante) la encuentran Shaw et al. (2002). Los autores atribuyen este hecho a que al incrementar la relación de plastificante (glicerol o sorbitol) disminuyen las interacciones intermoleculares en el entrecruzamiento de las proteínas. Doolittle (1965) sugiere que las moléculas de plastificante se enlazan con las moléculas de agua y con centros activos a lo largo de las cadenas de los polímeros, lo que hace decrecer las interacciones intermoleculares e incrementar las distancias intermoleculares.

McHugh & Krotcha (1994) reportan un decrecimiento de las tensiones con el aumento del plastificante con glicerol, pero no logran concluirlo para el sorbitol.

- El mayor stress soportado por los films estudiados fue de 7,8 MPa y se obtuvo con la relación 2,3/1 WPI/glicerol y con un 8 % de WPI en los films con espesor 0.124 ± 0.010 mm. En el otro rango de espesores estudiado para esta misma relación se encontró un valor de stress máximo de 7,4 MPa, muy similar al mencionado anteriormente. Esta característica concuerda con lo encontrado por Longares (2004), donde se llega a la conclusión de que no hay diferencias significativas en los valores de stress entre los distintos espesores, lo cual puede ser atribuido a la inclusión del valor del espesor en los cálculos del stress, del mismo modo como se explicó para el caso de glicerol.

Elongación

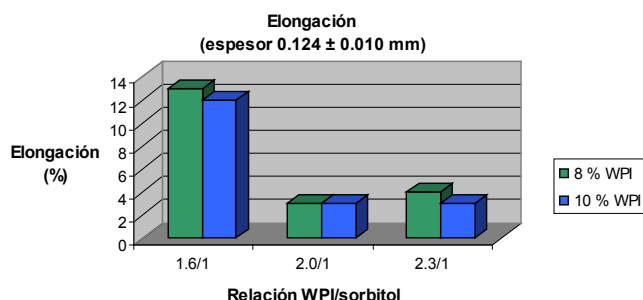


Gráfico 13. Comparación de elongaciones a la ruptura. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

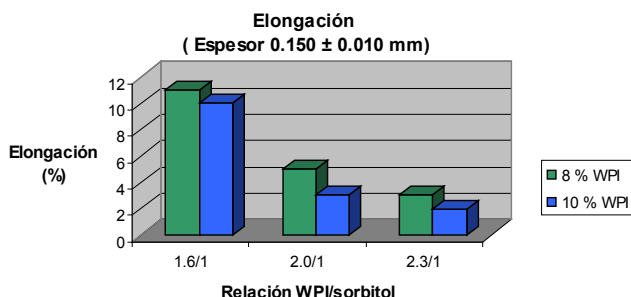


Gráfico 14. Comparación de elongaciones a la ruptura. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- No se observan diferencias estadísticas en el porcentaje de elongación entre los films con 8 % y 10 % de WPI con un nivel de confianza de 95 % en todas las relaciones WPI/sorbitol y espesores estudiados, como lo demuestran los Gráficos 13 y 14.
- Los films con mayor porcentaje de plastificante (1,6/1), son los que poseen mayor elongación, comprobándose su diferencia estadística al 95 % de confianza entre los de relación 2,0/1 y 2,3/1 de WPI/sorbitol, en los dos porcentajes de WPI estudiados. No se encontraron diferencias entre las elongaciones de los films con 2,0/1 y 2,3/1 estudiadas. Shaw, et al. (2002) y McHugh & Krotcha (1994) encontraron que el porcentaje de elongación aumenta con el incremento de glicerol o sorbitol.
- El mayor porcentaje de elongación encontrado fue de 13 % en los films con mayor proporción de plastificante, lo que indica un porcentaje relativamente bajo en relación a lo obtenido con los films con glicerol, donde utilizando las mismas condiciones se llegó a un 60 % de elongación. Este resultado demuestra la poca elasticidad de los films realizados con sorbitol como plastificante.

Módulo de Young

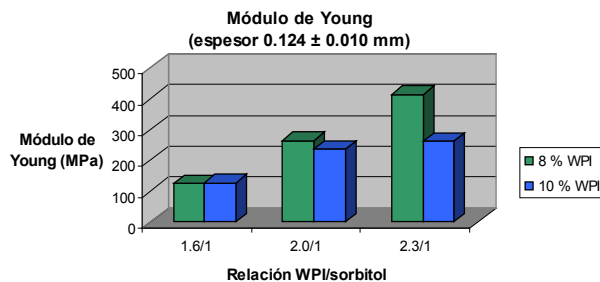


Gráfico 15. Comparación de módulos de Young. Espesor 0.124 ± 0.010 mm.

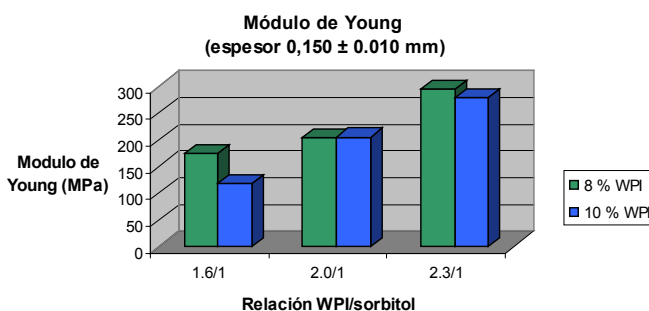


Gráfico 16. Comparación de módulos de Young. Espesor 0.150 ± 0.010 mm.

- En los Gráficos 15 y 16 se puede observar una tendencia a que a menor relación WPI/sorbitol el módulo de Young es menor, por lo que los films son más elásticos. Del mismo modo Shaw et al. (2002) y McHugh & Krotcha (1994) encontraron que el módulo de Young disminuye con el incremento de glicerol y sorbitol. Estos resultados se comprueban estadísticamente al 95 % de confianza en casi todos los films de espesor 0.150 ± 0.010 mm, siendo la única excepción la diferencia entre las de relación 1,6/1 y 2,0/1 en los films que poseen 8 % de WPI. En los films de espesor 0.124 ± 0.010 mm la única excepción encontrada fue entre las relaciones 2,0/1 y 2,3/1 con un 10 % de WPI.
- En la mayoría de los casos estudiados no se observan diferencias estadísticas entre los films realizados con 8 % y 10 % de WPI. Los casos que sí presentaron diferencias estadísticas al 95 % de confianza fueron de relación 2,3/1 en los films de espesores 0.124 ± 0.010 y los de relación 1,6/1 en el otro espesor estudiado.
- A menor módulo de Young, los films son más elásticos. Los menores valores encontrados fueron de 117 MPa y 128 MPa para los films realizados con una relación 1,6/1 WPI/sorbitol, lo que concuerda con que los mismos fueron los que presentaron mayor elongación (10 y 13 %, respectivamente).

COMPARACIÓN DE GLICEROL Y SORBITOL COMO PLASTIFICANTES

En este punto se comparan los resultados obtenidos anteriormente utilizando glicerol y sorbitol como plastificantes, en cada uno de los parámetros estudiados.

Fuerzas máximas y a la ruptura

- Los films realizados con sorbitol soportan mayor fuerza máxima y a la ruptura que los que tienen glicerol (del orden de 1.5 a 2.5 veces mayores). Esto se comprueba estadísticamente al 95 % de confianza en ambos porcentajes de WPI en casi todos los casos estudiados. Las

excepciones fueron en los films con espesor 0.124 ± 0.010 mm que se realizaron con la relación 2,0/1 de WPI/plastificante y con el espesor de 0.150 ± 0.010 mm las 10 % WPI y relación 2,3/1. La no comprobación estadística en estos casos se debe a dos factores: el primero es que se rompieron algunos films en el ensayo, por lo cual el número de determinaciones realizadas fue menor, y el segundo fueron las altas desviaciones estándares que se obtuvieron.

- En ambos plastificantes se observa la tendencia de la disminución de las fuerzas máximas y de ruptura con el aumento del porcentaje de WPI (del 8 % al 10 %) en todos los films estudiados.
- Asimismo, en ambos plastificantes se observa una tendencia al aumento de las fuerzas conforme disminuye la proporción de plastificante en los films.

Stress máximo y a la ruptura

- Los films con sorbitol soportan mayores stress máximos y a la ruptura que los de glicerol, tal como se concluye en el trabajo de Shaw et al. (2002).
Esto se comprueba estadísticamente al 95 % de confianza en ambos porcentajes de WPI en casi todos los casos estudiados. Las excepciones fueron en los films con espesor 0.124 ± 0.010 mm que se realizaron con 8 % de WPI en la relación 2,0/1 de WPI/plastificante; y los films con espesor 0.150 ± 0.010 mm con 10 % WPI y relación 2,3/1.
- En la comparación de stress se mantiene la misma tendencia que en las fuerzas, resultando la diferencia entre los stress de los distintos plastificantes mayores en los films de 8 % que en los de 10 % de WPI. También se observa un aumento de los stress al disminuir la proporción de plastificante, lo que resulta lógico ya que el stress se define como la fuerza por unidad de área, manteniéndose esta última constante.

Elongación

- Los films conteniendo glicerol poseen mayores elongaciones que los de sorbitol. Estas mismas conclusiones obtienen Shaw et al. (2002).
- En ambos plastificantes y espesores estudiados los films con mayor porcentaje de plastificante (1,6/1), son los que poseen mayor elongación. Shaw et al (2002) y McHugh & Krotcha (1994) encontraron que el porcentaje de elongación aumenta con el incremento de glicerol o sorbitol.

Módulo de Young

- Los films conteniendo sorbitol poseen mayores módulos de Young que los que tienen glicerol. Esto se comprueba en ambos porcentajes de proteínas y en todas las relaciones estudiadas. Estas mismas conclusiones obtienen Shaw et al. (2002).
Dado que este parámetro es una medida de la rigidez de los films, se puede decir que los films realizados con sorbitol son más rígidos, lo que concuerda con las bajas elongaciones obtenidas en relación al glicerol.
- En ambos plastificantes estudiados y en ambos espesores el módulo de Young aumenta con la disminución del porcentaje de plastificante.
Se observa que los films con menor proporción de plastificante (cualquiera de los dos usados) son los más rígidos. Esto concuerda con el hecho de que en ambos casos son los que presentan menor elongación.

Conclusiones

- Los films soportan mayor fuerza cuando: disminuye la proporción de plastificante, aumenta el espesor de los films y la concentración de proteína es del 8 % para los dos tipos de plastificante estudiados.
- El stress tiene el mismo comportamiento que las fuerzas, en cuanto a que los mayores stress se obtienen con la disminución del porcentaje de plastificante y de la concentración de WPI. Sin embargo, esto no depende del espesor de los films, ya que existe un efecto de normalización por la inclusión del valor del espesor en los cálculos.
- Los films elaborados con sorbitol soportan mayores fuerzas y stress.
- Tanto los films elaborados con glicerol como con sorbitol presentan mayor elasticidad cuando hay una mayor proporción de plastificante, lo que se demuestra con las mayores elongaciones obtenidas y los valores más bajos de módulos de Young.
- Los films elaborados utilizando glicerol como plastificante son más elásticos que los de sorbitol. Esto lo demuestran tanto las elongaciones obtenidas como los módulos de Young que presentaron.
- Todas las tendencias observadas se mantienen en los dos espesores estudiados.

Reconocimientos

- LATU: Centro de Información, Departamento de Plásticos, Departamento de Metrología, Departamento de Microbiología.
- Glanbia Nutritional Uruguay.
- Universidad de Sao Paulo: Facultad de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, SP, Brasil.
- PDT: Programa de Desarrollo Tecnológico.
- CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referencias

- CUQ, B., et al. Functional properties of myofibrillar protein based biopackaging as affected by film thickness. En: *Journal of Food Science*. 1996, 61(3):580-584.
- DOOLITTLE, A. K. Mechanisms of plasticization. En: Bruins P. F. (ed.). *Plasticizer technology*. V. 1. New York: Reinhold Publishing, 1965. p. 1-20.
- KAYA, S.; KAYA, A. Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. En: *Journal of Food Engineering*. 2000, 43(2):91-96.
- LONGARES, A., et al. Physical properties and sensory evaluation of WPI films of varying thickness. En: *Journal of Food Science and Technology*. 2004, 37(5):545-550.
- MCHUGH, T.H.; KROTCHA, J.M. Milk-protein-based edible films and coatings. En: *Food technology*. 1994, 48(1):97-103.
- SHAW, N. B., et al. Physical properties of WPI films plasticized with glycerol, xylitol or sorbitol. En: *Journal of Food Science*. 2002, 67(1):164-167.
- SOBRAL, P.J. Thickness effects of myofibrillar protein based edible films on their functional properties. En: *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 2000, 35(6):1251-1259.
- SOTHORNVIT, R., et al. Tensile properties of compression-molded whey protein sheets: determination of molding condition and glycerol-content effects and comparison with solution-cast films. En: *Journal of Food Engineering*. 2006, 78(3):855-860

Fruto autóctono butiá: innovación y transferencia tecnológica

Betancurt, P. ⁽¹⁾, Gioscia, D. ⁽¹⁾, Ayres, C. ⁽¹⁾, Arcia, P. ⁽¹⁾

Contacto: dgioscia@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Proyectos Agroalimentarios, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 23/06/2008 - Aprobado: 10/10/2008

Resumen

Desde las primeras décadas del siglo XX existen referencias (Cardoso, 1995) sobre emprendimientos domésticos y comerciales que citan productos a base de butiá.

En 1998 el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) comienza a incursionar en asesoramientos a emprendimientos sobre este tema, y en 2006 lo retoma desde un ángulo más industrial, planteando la idea de desarrollar comercialmente productos a base de butiá, fruto de la palmera *Butia capitata*, autóctono de la zona Este de la República Oriental del Uruguay. Estos productos de habitual consumo y elaboración casera están muy incorporados a la cultura local y su comercialización aún es muy pequeña.

A través del conocimiento de los saberes locales y de la incorporación de tecnología se busca desarrollar, adecuar y/o mejorar productos de buena calidad de pequeños elaboradores.

El presente trabajo tiene dos ejes: desarrollo de productos a base de butiá, junto con el diseño del equipamiento adecuado para su procesamiento, y la transferencia tecnológica de los conocimientos generados a los pequeños elaboradores de esta zona de Uruguay que le permitan mejorar su calidad de vida. Dentro de estos productos se encuentran: pulpa de butiá para diferentes usos (ej. relleno para bombones) y productos a base de semillas del butiá (ej. almendra tostada para rellenos).

Respecto al equipamiento adecuado para estos procesos, se ve la necesidad de diseñar un equipo para la extracción de las semillas, otro para la extracción de pulpa del butiá y una templadora para chocolate. Los resultados esperados son la mejora y/o desarrollo de productos a base de butiá reconocidos en el medio local, promoviendo la interacción con otras actividades (turismo sustentable), dentro de un marco que favorezca la preservación del ecosistema y la generación de canales de comercialización estables para los productos.

Palabras clave: *Butia capitata*, cultura local, elaboradores, productos a base de butiá, transferencia tecnológica.

Abstract

The “butiá” is the fruit of the *Butia capitata* palm, native of the East of the República Oriental del Uruguay. The idea of developing products based on “butiá” have been roaming in our minds for many years. Products made from butiá are common and home made in the area and their commercialization is still very local and small. Using the local knowhow and providing technology, we are aiming to adequate and/or improve the good quality products of the small artisans.

This paper has two objectives. The first is the development of products made from butiá along with designing the adequate equipment to process them. The second is the technological transfer of the knowledge involved to every artisan in this area of our country, so they can finally improve their quality of life. Among the products we can find “butiá pulp” for different uses, for example to fill in chocolates, and products based on the seeds of butiá, for example toasted seeds for fillings. In respect to the equipment for this process, it is necessary to design a mechanism to extract the seeds, another to extract the pulp and a chocolate warmer. We aim to improve and/or develop products based on butiá which are already well known locally, and thus to promote the interaction with other activities (like self sustained tourism) in a setting that will be friendly with the preservation of the local ecosystem and the creation of commercialization channels for the products.

Key words: *Butia capitata*, products based on “butiá”, local knowhow, small artisans, technological transfer.

Introducción

En el Este de la República Oriental del Uruguay se desarrolla un ecosistema particular vinculado a la palmera *Butia capitata* (conocida como butiá), que se extiende en unas 70.000 ha en el departamento de Rocha. Según Rivas Latorre y Barilani (2004):

“Estas comunidades vegetales son reconocidas por su diversidad biológica, valor escénico y cultural, y el uso tradicional de sus frutos”. “La ausencia de regeneración, y el envejecimiento de los individuos coetáneos que conforman los palmares actuales, colocan a estas comunidades vegetales en serio riesgo de extinción”.

Este ecosistema único en el mundo se encuentra en riesgo y debe ser preservado mediante un conjunto de medidas: conservación de los

ejemplares, establecimiento de áreas protegidas, cultivos comerciales (desarrollo de viveros) y valoración económica de sus productos realizando los servicios ambientales (Baez, 2000; Pérez et al. 1997). Se han hecho estudios de caracterización de los palmares (Barilani, 2002), así como de su distribución (Zaffaroni, 2004) y la viabilidad (Pérez et al. 1997) y diversidad genética del *B. capitata* (Rivas Latorre, 1997). El fruto autóctono butiá ha sido empleado en la elaboración de diferentes productos muy incorporados a la cultura local y varios de ellos se comercializan actualmente. Estudios han demostrado que frutos como el butiá, por su alto contenido en carotenoides, contribuyen significativamente como antioxidantes y como reguladores del sistema inmune (Jacques et al. 2007). El fruto autóctono butiá es esférico u oblongo, de hasta 25 mm de diámetro, de color amarillo o anaranjado, con pulpa jugosa y abundante (PROBIDES, 1994). Este fruto crece en la palmera arracimado, formando los comúnmente llamados “cachos”

de butiá (Figura 1). Presentan un corazón, el endocarpo leñoso, conocido localmente como coquito (Figura 2), extremadamente duro. Este coquito casi esférico, de aproximadamente 15 mm de diámetro, contiene las semillas conocidas popularmente como almendras (Pereira et al. 2008). Los productos comestibles aprovechables del butiá son la pulpa y las almendras.



Figura 1. "Cacho de butiá".



Figura 2. Coquitos de butiá.

En los últimos años, el LATU ha estado trabajando con elaboradores de la zona y ONG's en el desarrollo de productos a base de butiá. Este proceso se desarrolla con la colaboración de la Intendencia Municipal de Rocha, de forma de aunar esfuerzos y recursos con el propósito de rescatar los saberes locales y de incorporar la tecnología apropiada que permita desarrollar, adecuar y/o mejorar productos de buena calidad para la pequeña producción artesanal.

El presente trabajo tiene como objetivo, por tanto, promover el desarrollo agroalimentario local, sustentable ambientalmente, en la zona del Este del Uruguay mediante la innovación y mejora de productos vinculados al fruto del butiá.

La actividad planteada tiene dos ejes: el desarrollo de productos vinculados al fruto autóctono butiá, junto con el diseño del equipamiento adecuado para su procesamiento, y la transferencia de los conocimientos generados a grupos de elaboradores de la zona Este del Uruguay, donde crece la palmera *B. capitata*. Los productos, equipos y tecnologías implementadas son transferidas a estos grupos de elaboradores de modo que puedan replicarlas, promoviendo así al desarrollo local sustentable de este sector de la población.

En lo que respecta al desarrollo de productos, un rubro que se visualiza con potencial comercial es el de la bombonería. Para ello se perfila con cierto interés elaborar bombones con rellenos, aprovechando las distintas partes comestibles del fruto: la pulpa y la almendra (Jorge Cabrera, 2007; Jorge Cabrera y Capdevila, 2005).

Este tipo de productos requiere del equipamiento adecuado para alcanzar la calidad deseada en el producto final. A los fines de este trabajo se plantea el diseño de tres equipos: tamizadora, quebradora de coquitos y templadora de chocolate.

Históricamente el proceso de pulpado incluyó pelado manual, cocción y tamizado por colador doméstico. El proceso en su totalidad era muy lento, lo cual no favorecía la obtención de una pulpa de calidad con un rendimiento adecuado final. De allí la necesidad de incorporar la mecanización del proceso para acelerar la fabricación y evitar el deterioro de calidad, e incrementar los rendimientos de producción.

En cuanto a la obtención de la almendra, hoy se realiza manualmente, mediante la rotura del coquito uno por uno. Como en el caso anterior, se entiende necesario diseñar un equipo que quiebre el coquito de forma mecánica y eficiente, para aumentar el rendimiento

del proceso y dañar lo menos posible las almendras.

Finalmente, para obtener bombones, ya sean rellenos como macizos, se debe disponer del chocolate templado adecuadamente. Para ello resulta necesario contar con una templadora en la cual se derrite y mantiene el chocolate a la temperatura de trabajo.

Materiales y Métodos

Insumos:

- Butiá
- Azúcar de caña
- Chocolate blanco
- Fondant
- Agua
- Sal gruesa (cloruro de Sodio)
- Hipoclorito
- Potes plásticos

Equipamiento utilizado:

- Balanza de planta, máx 500 kg, marca FLORENZ
- Tinajas de lavado de acero inoxidable
- Paila de doble camisa marca HWOLFF de 120 litros de capacidad total
- Tamizadora marca LEONHARDT Modelo 300, año 1977
- Tamizadora de butiá (diseñada para este fin)
- Quebrador mecánico del endocarpo leñoso (diseñado para este fin)
- Horno, marca BAKE OFF, con ventilación forzada utilizando una temperatura de secado de 70 °C.
- Templadora de chocolate (diseñada para este fin)
- Cámara de -20 °C marca TUPINIQUIM
- Refractómetro, marca ABBE, modelo MARK II
- pHímetro, marca DIGITAL METER modelo DIGI 610 WTW

Métodos analíticos:

- pH: método ISO 1842 : 1991 (E).
- °Brix método ISO 2173 : 2003 (E).
- Humedad basado en método gravimétrico a Presión atmosférica. Composition and analysis of foods Pearson's ninth edition, 1991.
- Cenizas basado en Norma Unit 548-82 /método gravimétrico.
- Proteínas basado en método Kjeltex, Foss- Tecator.
- Fibra Alimentaria Total basado en método anzimático gravimétrico. Official Methods of analysis of A.O.A.C. International, 16ª Ed., 1996, método 985.29.
- Carbohidratos totales por diferencia: 100-[Humedad (g/100gr) + Cenizas (g/100gr) + Fibra Alimentaria total (g/100gr) + Proteínas (g/100 gr)].

Parte experimental

A continuación se presentan las metodologías empleadas en el diseño de los equipos.

1-A) Diseño de equipos

Tamizadora

Para obtener la pulpa se retira el coquito (endocarpo leñoso). Se plantea realizar dicho procedimiento con una tamizadora de pulpa de tomate adaptada a las condiciones de trabajo con este tipo de frutos. Además de retener el coquito, la tamizadora debe mantener gran parte de la fibra del fruto, para evitar que en algunas preparaciones gastronómicas o en conservas pierdan atractivo en degustación en boca.

Para el diseño de este equipo se tomó como base una tamizadora de la planta piloto del LATU, de origen alemán, la cual tamiza tomate

separando pulpa por un lado y piel y semillas por otro. Las dimensiones de la tamizadora son: altura 140 cm, ancho 45 cm largo 75 cm. Sus características operativas son: 710 rpm para la primera velocidad, 2 hp totales de potencia del motor. Dadas las diferentes características de uno y otro fruto (tomate y butiá), se debe realizar una adaptación del equipo para cumplir sus nuevos cometidos. Los cambios a realizar son: malla del tamiz de 3 mm (tamaño de partícula tal que deja pasar la pulpa pero no la fibra), modificación de la potencia y revoluciones del motor, distancia e inclinación de los raspadores - limpiadores (entre ellos y el tamiz) y definición del tamaño del equipo en función de los volúmenes y prestaciones que se pretenden obtener de la pulpa de este particular fruto.

Quebrador mecánico del endocarpo leñoso (“coquito”)

El objetivo del equipo a diseñar es romper el coquito para la obtención de la semilla (conocida popularmente como almendra). Los parámetros fijados para el diseño son que opere en forma manual y continua, para una pequeña producción con un rendimiento de 100 kg de coquitos quebrados por hora.

El concepto utilizado para este diseño es el de dos placas de acero inoxidable, donde una de ellas presenta movimiento de vaivén, formando un pequeño ángulo que no deja que los coquitos pasen sin ser rotos. Un parámetro a tener en cuenta es la clasificación por tamaño, lo que permitirá una acertada calibración del equipo, de manera que el porcentaje de almendras rotas no sea mayor al 10 %.

Templadora de chocolate

Las condiciones actuales tanto para derretir como para templar el chocolate empleadas por los elaboradores de alimentos no ofrecen garantías a la hora de los controles de proceso requeridos. Existe además una posible contaminación con agua por el empleo inadecuado de los “Baños María”.

En el uso de microondas se constata que los recipientes usados no son aptos para este sistema, que su lavado es ineficiente y que se generan problemas de exceso de temperatura debido a las diferentes potencias con las que trabajan estos equipos.

Resulta fundamental diseñar una templadora cuya capacidad sea adecuada y ofrezca condiciones de trabajo y manipulación aptas para alimentos. Este equipo debería ser de fácil operación por parte de los manipuladores de alimentos a quienes está destinado, que permita su fácil limpieza y sanitización, así como su fácil desarmado para la tarea. Asimismo es importante que sea de bajo costo y de bajo consumo eléctrico.

El diseño de este equipo está basado en la idea del uso doméstico del “Baño María”; consiste en dos recipientes, uno dentro del otro y desmontables, de modo de poder agregar o quitar el agua y permitir su fácil limpieza. Cuenta con dos unidades controladoras de la temperatura (termostatos de rango variable) a fin de derretir y templar el chocolate en las mejores condiciones posibles. El material elegido para la construcción de las piezas en contacto con el alimento es el acero inoxidable.

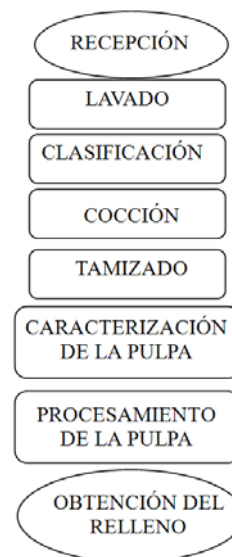
En el diseño planteado no existe posibilidad de que el chocolate se contamine con agua.

Una vez definidos los requisitos y parámetros del nuevo equipo, y como fase previa a su escalamiento comercial, se realizan todas las pruebas y ajustes en planta piloto del LATU, para luego comunicárselas a los posibles interesados. Estos interesados, satisfechos con el modelo presentado, solicitan a una empresa metalúrgica la construcción del mismo bajo parámetros aportados por LATU.

1-B) Desarrollo de productos

Proceso tecnológico de obtención de pulpa de butiá para rellenar bombones

Diagrama de flujo:



Recepción

La fruta se recibe en los denominados “cachos”, se pesa (P1, Tabla 4) y aprecia visualmente el estado sanitario y madurez de los frutos.

Lavado

Esta etapa se realiza en dos partes. En la primera se colocan los frutos bajo chorros de agua, de manera de retirarle impurezas visibles (hojas, tallos, tierra, etc.). En la segunda se sumergen estos frutos en agua potable clorada (entre 20 y 30 ppm de cloro) durante cinco minutos.

Clasificación

Se toman en cuenta parámetros como estado sanitario, madurez y color, descartando aquellos frutos que se encuentren en mal estado o que su madurez no sea la adecuada. Se pesan los frutos seleccionados (P2, Tabla 4).

Cocción

Los frutos seleccionados se colocan en paila de doble camisa (vapor) con agua, en una relación de 60/40 (kg de fruta / kg de agua) para provocar su cocción, lo que lleva a obtener un puré de fruta que contiene disperso color, sabor y aroma propios del butiá. El punto final de cocción se determina cuando los frutos comienzan a abrirse y el coquito se quiere desprender de la pulpa.

Tamizado

Dado que este fruto presenta un corazón o semilla (coquito) extremadamente duro, éste se retira con la tamizadora (equipo diseñado para este fin).

Caracterización de la pulpa (Análisis físico químico)

Una vez obtenida la pulpa, ésta se analiza bajo parámetros de sólidos solubles (grados Brix) con valores entre 5 y 7 y valores de pH entre 2,8 y 3,2.

Procesamiento de la pulpa (Incorporación de ingredientes)

La pulpa se coloca en paila y se le incorporan partes iguales de azúcar de caña, concentrando la mezcla hasta llevarla a valores de sólidos solubles (grados Brix) entre 70 y 72° Bx, y se envasa en tarrinas plásticas con doble bolsa de polietileno conservados a temperatura ambiente. Se pesa la pulpa obtenida (P3, Tabla 4).

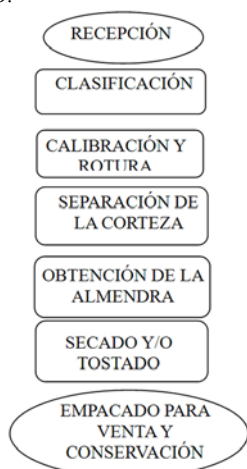
Obtención del relleno

Para esta etapa, y en función de los análisis físico-químicos, se toma un determinado porcentaje de la pulpa tamizada con azúcar de caña y se combina con chocolate blanco previamente templado y fondant, formando una pasta homogénea. Dependiendo de los porcentajes que se utilicen de pulpa vs. chocolate blanco y fondant se pueden elaborar un relleno para coquillas (para mangas o boquillas) o una base para bañar bombones. Se pesa el relleno obtenido (P4).

Proceso tecnológico de obtención de almendras de coquitos de butiá

Los coquitos del fruto butiá presentan en su interior de una a tres semillas ("almendras"). Su sabor recuerda al coco deshidratado y presenta un alto contenido en aceites. Sus usos son variados: café de coquitos, incorporación en rellenos, snacks, sembrado de helados, etc.

Diagrama de flujo:



Recepción

Luego de la obtención de la pulpa tamizada, uno de los descartes o excedentes remanentes son los coquitos del butiá. Estos coquitos se reciben y pesan para estimar su rendimiento (P5, Tabla 4). En la Figura 2 se muestran coquitos de butiá.

Clasificación

En esta etapa se verifica estado sanitario de los coquitos y se clasifican por tamaño a fin de que el equipo de rotura funcione adecuadamente.

Calibración y rotura

Una vez definido el tamaño de los coquitos que pasarán por el equipo, éste se calibra para evitar que pasen sin ser rotos. Luego de realizadas las pruebas de aproximación, se colocan los coquitos en el equipo para su rotura y posterior separación de las almendras.

Separación de la corteza

La corteza de los coquitos se remueve y separa de las almendras por flotación en una salmuera al 7 % o manualmente sobre mesada.

Obtención de las almendras

Una vez obtenidas las almendras, se seleccionan por estado, enteras o rotas, manteniéndolas separadas hasta su destino final y se pesan (P6, Tabla 4). Las almendras enteras se pueden reservar con destino para chocolate con almendras de butiá (Figura 16) y snacks. Las rotas pueden ser usadas en rellenos, sembrados para helados, "café" de coquitos, para bombones sólidos de almendras de butiá, etc.

Secado y/o tostado

De acuerdo al uso que se le atribuya, las almendras se secan o

tuestan. Para el secado, las almendras se colocan en hornos domésticos a muy baja temperatura (entre 50 y 70 °C) hasta cambio de coloración. Las almendras crudas presentan un color blanco traslúcido y el punto final es el cambio de color a blanco opaco. Para el tostado se colocan en los mismos hornos a temperaturas entre 120 y 150 °C hasta cambio de color a pardo claro o tostado claro. En ambos procesos cuando se llega al punto final se retiran del horno y se las deja enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente.

Empacado y conservación

Una vez que las almendras se encuentran a temperatura ambiente, se envasan en bolsas de polietileno dentro de potes plásticos y almacenan en cámara de -20 °C para retardar los procesos de oxidación propios de estos tipos de productos ricos en aceites hasta el momento de su uso.

2) Transferencia tecnológica

Los procesos ensayados (obtención de pulpa de butiá para elaboración de bombones y obtención de la almendra del coquito de butiá) se transfieren a grupos de elaboradores de la zona Este del Uruguay. Esta acción se realiza mediante capacitaciones, consultorías y asistencias en el propio lugar de la elaboración. Los equipos construidos son presentados por parte de sus creadores.

Resultados y Discusión

1-A) Diseño de equipos

Los equipos diseñados y construidos cumplen con los requisitos planteados y son factibles de ser transferidos a los elaboradores o interesados que los soliciten.

Tamizadora

El diseño alcanzado permite que los coquitos salgan enteros sin presentar roturas, si la fruta butiá está en buen estado sanitario y bien clasificada por tamaño. En caso de producirse rotura de los coquitos, la pulpa presentaría sabores amargos impropios de la fruta y presencia de trozos no comestibles en los productos terminados. En la Figura 3 se presenta el equipo diseñado y en la Tabla 1 los parámetros operativos.



Figura 3. Tamizadora

Material carcasa	En contacto con el alimento: acero inoxidable 316. Demás partes acero terminado con pintura epoxi de uso alimentario
Material raspadores – limpiadores	Eje acero inoxidable 316 con lámina plástica de teflón rígido para uso alimentario regulable
Material tamiz	Acero inoxidable 316
Tamaño poro tamiz	2 mm
Dimensiones	Altura: 140 cm Ancho: 45 cm Largo: 75 cm
Potencia del motor	2 HP
Necesidad de corriente	Monofásica 220 volt

Tabla 1. Parámetros operativos de la tamizadora

Este equipo presenta condiciones de trabajo multipropósito. Puede ser regulado y calibrado en función del tipo de fruta que se pretenda tamizar, aumentando o disminuyendo su tiempo de retención mediante la modificación del ángulo de barrido de los raspadores - limpiadores y de la distancia del raspador - limpiador desde y hacia el tamiz, de forma tal de poder tamizar frutas cocidas de diferentes tamaños sin previa clasificación.

Quebrador mecánico del endocarpo leñoso (“coquito”)

Se opera en forma manual y continua. Si la clasificación por tamaño es adecuada, se alcanza un rendimiento de 100 kg de coquitos quebrados por hora y un porcentaje de almendras rotas no mayor al 10 % del total.

Una vez quebrados los coquitos, éstos se recogen en un recipiente para su posterior separación y obtención de la almendra. La corteza que protege a las almendras se descarta para ser usada como fuente de energía en cocinas u hornos de leña domésticos.

El diseño contempla también la seguridad de los operarios, de forma tal que las manos de los mismos no tengan contacto con las partes móviles del equipo. Tiene prevista la posibilidad de mecanizar su uso (giro), mediante la incorporación de un motor monofásico o trifásico (donde se disponga de este tipo de energía) con reductor de velocidad.

Vale aclarar que el equipo se encuentra aún en su fase experimental, debido a la búsqueda de materiales más económicos para su diseño y fabricación. El equipo se muestra en las Figuras 4 y 5, y en la Tabla 2 se presentan los parámetros operativos. El producto obtenido (almendras) se muestra en la Figura 6.



Figura 4. Rompedor mecánico del endocarpo leñoso.



Figura 5. Rompedor mecánico del endocarpo leñoso.

Material	Acero terminado con pintura epoxi
Dimensiones	Largo = 30,5 cm
	Alto = 34,5 CM
	Ancho = 19 CM

Tabla 2. Parámetros operativos de quebradora del endocarpio leñoso.



Figura 6. Almendra del coquito del butiá.

Templadora de chocolate

El equipo presenta las siguientes características: bajo costo de construcción y de consumo eléctrico, capacidad adecuada y condiciones de trabajo y de manipulación aptas para el manejo del tipo de producto a utilizarse. Cuenta con una resistencia eléctrica que posee dos termostatos independientes. Uno que permite derretir el chocolate sin pasarlo de temperatura y otro que después de sembrarlo permite un adecuado templado. Se construyó en acero inoxidable de uso alimenticio y es perfectamente lavable e higienizable. Su tamaño está definido para pequeños usos, pudiendo trabajar hasta 3 kg de chocolate cada vez. El equipo diseñado se muestra en la Figura 7, y en la Tabla 3 se presentan los parámetros operativos.



Figura 7. Templadora de chocolate.

Material	Acero inoxidable 316 en contacto con el alimento y el agua. Forrado de acero galvanizado sin terminación
Dimensiones de la carcasa exterior	Alto = 14,5 cm Ancho = 18 cm Largo = 57 cm
Dimensiones del contenedor de chocolate (contenedor interior)	Alto = 8 cm Ancho = 12 cm Largo = 40 cm
Termostatos	Termostato 1: hasta 90 °C Termostato 2: hasta 40 °C
Necesidad de corriente	Corriente monofásica 220 volt. Consumo: 1000 watts/hora

Tabla 3. Parámetros operativos de la templadora de chocolate.

Como se aprecia en la Figura 7, el equipo cuenta con una placa de acero inoxidable, continuación de la bandeja contenedora de chocolate que oficia de superficie de escurrido de excedentes que se vuelven a usar escurriendo hacia la bandeja.

A su vez, la pestaña que presenta la bandeja contenedora de chocolate no permite entrada de agua al mismo, evitando su contaminación.

1-B) Desarrollo de los productos

Proceso tecnológico de obtención de pulpa de butiá para rellenar bombones

En la Tabla 4 se presentan los pesos de materia prima antes y después de la clasificación y de la pulpa obtenida y los rendimientos respectivos.

Producto	Peso	Rendimiento	
Butiá entero (P1)	43,3 kg	-	-
Butiá luego de la clasificación (P2)	39,0 kg	(P2/ P1*100)	90 %
Pulpa de butiá (P3)	44,2 kg	(P3/ P1*100)	102 % (*)

Tabla 4. Pesos y rendimientos.

(*) Esto se explica por el agregado de azúcar para la preparación de la base para el relleno y su autoconservación.

La pulpa de butiá fue analizada fisicoquímicamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Humedad (g/100 g)	30.8
Cenizas (g/100 g)	0.2
Proteínas (g/100 g) (F=6.25)	0.6
Fibra Alimentaria Total(g/100g)	menor de 1
Carbohidratos totales (g/100 g)	68
Valor Energético (Kcal/100mL)	274

Tabla 5. Análisis de pulpa de butiá.

Con esta pulpa más agregado de fondant (33 %) y chocolate blanco (33 %) se obtiene el relleno para bombones. Este relleno tiene marcadas características de la fruta de origen, con matices ácidos y sabores propios del butiá y su color naranja terracota natural.

En la Tabla 6 se presentan las cantidades en porcentaje y en peso de los ingredientes utilizados para la obtención del relleno para bombones

Producto	% de la mezcla	Peso
Pulpa de butiá	33	44,2
Fondant	33	44,2
Chocolate blanco	33	44,2
Relleno para bombones (P4)	-	132,6

Tabla 6. Porcentaje de insumos y peso de los ingredientes utilizados.

Otros destinos de la pulpa de butiá son: base para elaboración de mermeladas, salsas agrídulces, licores, topping (salsas) para helados, pulpa para elaboración de helados, entre otros.

Proceso tecnológico de obtención de almendras de coquitos de butiá

Los pesos y rendimientos de coquito y almendra obtenido se presentan en la Tabla 7. El producto que se obtiene posee un delicado sabor que recuerda al coco deshidratado. Una de las características de este producto es el alto contenido en aceites, lo que lo hace susceptible a oxidarse rápidamente.

Además de rellenos de bombones, sus usos pueden ser tan variados como: café de coquitos, tartas, tortas, snacks, sembrado de helados, materia prima para barra de cereales, etcétera.

Producto	Peso	Rendimiento	
Coquitos de butiá (P5)	12,4 kg	-	-
Almendra de butiá (P6)	3,1 kg	(P6/ P5*100)	25 %

Tabla 7. Pesos y rendimientos obtenidos.

2) Transferencia tecnológica

Las capacitaciones se realizan en una sala de elaboración colectiva de la zona Este del Uruguay. En este local se nuclea a varios grupos de elaboradores de la zona. Se utiliza el equipamiento diseñado para cada una de las aplicaciones.

En 2007 se dictaron cursos teórico-prácticos de elaboración de bombones con elaboración in situ de pulpa de butiá y obtención de las almendras. En la exposición teórica se dieron los lineamientos generales para manipulación de alimentos, elaboración de los rellenos y elaboración de bombones. En la práctica se trabajó en la obtención de la pulpa de butiá y las almendras peladas, según los procesos establecidos y definidos anteriormente, y en la elaboración de bombones, haciendo hincapié en los aspectos relacionados a la seguridad alimentaria.

Los productos elaborados en dichas jornadas fueron evaluados en forma conjunta por los participantes y docentes. Los bombones desarrollados, el equipamiento y el proceso fueron presentados ante la oficina gubernamental bromatológica correspondiente, logrando su visto bueno.

Los elaboradores decidieron incorporar ambos procesos a su

producción actual (licores, mermeladas, jaleas, dulces, pickles). Con respecto al equipamiento presentado, la respuesta fue satisfactoria y se tradujo en la decisión de encargar la construcción de sus propios equipos siguiendo los modelos diseñados y aconsejados dependiendo del caso.

En las Figuras 8 a 16 se presentan fotografías tomadas durante dos de los cursos de elaboración de bombones y licores dictado a un grupo de elaboradores de una sala de elaboración colectiva de la zona Este de Uruguay.

Se pretende mostrar las diferentes etapas del proceso de obtención de relleno para bombones, obtención de almendras y elaboración de los bombones y la utilización de los equipos diseñados.



Figura 8. Lavado de la fruta.



Figura 9. Clasificación de la fruta.



Figura 10. Cocción de la fruta.



Figura 11. Tamizadora en sala de elaboración colectiva.



Figura 12. Pasta de butiá para rellenar bombones.



Figura 13. Templadora de chocolate en uso.



Figura 14. Proceso de relleno de bombones con pasta de butiá.



Figura 15. Bombones terminados.



Figura 16. Uso de la almendra como relleno de bombones.

Conclusiones

Es factible desarrollar productos innovadores, utilizando frutos autóctonos y lograr transferir con éxito las tecnologías desarrolladas a grupos de elaboradores artesanales.

En cuanto al equipamiento diseñado, tanto la tamizadora como la templadora de chocolate se encuentran actualmente insertas, con buenos resultados, tanto operativos como de calidad de los productos económicos obtenidos, en la zona Este de Uruguay (Gioscia et al. 2007).

En lo que respecta a la quebradora de coquitos, si bien la misma se encuentra operativa, se siguen buscando materiales más económicos que justifiquen su uso.

Esta transferencia conlleva un mejoramiento de la calidad y homogeneidad de los productos, con disminución de costos operativos y aumento de rendimientos, posibilitando el acceso a nuevos mercados, lo cual redundará en una mejora económica y de calidad de vida de los emprendedores locales involucrados.

Se espera también que mediante la valorización de los nuevos procesos y productos desarrollados y transferidos se preserve el ecosistema palmar.

Referencias

- BAEZ, Fernando; JAURENA, Martín. *Regeneración del Palmar de Butiá (Butia capitata) en condiciones de pastoreo: relevamiento de establecimientos rurales de Rocha*. Rocha: PROBIDES, 2000. (Documentos de trabajo; 27)
- BARILANI ALDECOA, Andrés. *Caracterización de los palmares de Butia capitata (Mart.) Becc. de Castillos y San Luis (Rocha): incidencia de los coleópteros consumidores de semillas*. Montevideo: Facultad de Agronomía, 2002.

- CARDOSO, Lucy. *El palmar, la palma y el butiá*. Rocha: PROBIDES, 1995. (Fichas didácticas; 4)
- FARIA, Juliana Pereira, et al. Caracterização química da amêndoa de coquinho-azedo (*Butia capitata* var *capitata*). [En línea]. En: *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2008, 30(2):549-552. [Consulta: 21 de mayo de 2008]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452008000200049&script=sci_arttext,
- GIOSCIA, Diego Civitate, et al. *Curso teórico práctico de elaboración de bombones*. Rocha: Casa Ambiental, 2007.
- JACQUES, Andressa, et. al. Teor de caro tenóides em pequenas frutas. [En línea]. En: Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. *XVI Congresso de Iniciação Científica*, (Pelotas 27-29 de noviembre de 2007). [Consulta: 22 de mayo de 2008]. Disponible en: http://www.ufpel.tche.br/cic/2007/cd/pdf/CA/CA_00226.pdf
- JORGE CABRERA, María Cristina. *Conceptos básicos de tecnología de transformación del cacao y elaboración de chocolate*. La Habana: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, 2007.
- JORGE CABRERA, María Cristina, CAPDEVILA, Joaquín. *La bombonería artesanal: conceptos básicos fundamentales*. La Habana: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, 2005.
- PÉREZ, Jorge, et al. Análisis de viabilidad y germinación en *Butia capitata*. En: Facultad de Agronomía. *II Seminario Nacional sobre Recursos Fitogenéticos*, (Montevideo 16-17 de diciembre de 1997). *I Seminario Nacional sobre Biodiversidad Vegetal*, (Montevideo 16-17 de diciembre de 1997). Montevideo: Facultad de Agronomía, 1997.
- PROBIDES. *Palmera Butiá: ficha técnica*. Rocha: PROBIDES, 1994. (Bañados del Este).
- RIVAS LATORRE, Mercedes María. Diversidad genética en *Butia capitata* y *Butia yatay*. En: Facultad de Agronomía. *II Seminario Nacional sobre Recursos Fitogenéticos*, (Montevideo 16-17 de diciembre de 1997). *I Seminario Nacional sobre Biodiversidad Vegetal*, (Montevideo 16-17 de diciembre de 1997). Montevideo: Facultad de Agronomía, 1997.
- RIVAS LATORRE, Mercedes María; BARILANI ALDECOA, Andrés. Diversidad, potencial productivo y reproductivo de los palmares de *butia capitata* (Mart.) Becc. de Uruguay. [En línea]. En: *Agrociencia*. 2004, 8(1):11-20. [Consulta: 24 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/VOL8/1/p11-20.pdf>
- ZAFFARONI PIAGGIO, Cecilia. *Distribución y mapeo de cinco categorías de densidades de los palmares de Butia Capitata (Mart.) Becc. de Castillos (Rocha)*. Montevideo: Facultad de Agronomía, 2004.

Productos a base de jugo de manzana: aprovechamiento agroindustrial de un excedente

Betancurt, P. ⁽¹⁾, Gioscia, D. ⁽¹⁾, Bentancor, J. ⁽²⁾, Arcia, P. ⁽²⁾

Contacto: dgioscia@latu.org.uy

⁽¹⁾ Departamento de Proyectos Agroalimentarios, Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) - ⁽²⁾ Departamento de Bebidas Fermentadas. Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Recibido: 23/6/2008 - Aprobado: 10/10/2008

Resumen

Este trabajo aborda una propuesta tecnológica para encontrar salidas de aprovechamiento agroindustrial a los crecientes excedentes de manzanas que presenta el sector de la fruticultura en Uruguay. Se pretende contribuir a la identificación de alternativas de industrialización mediante el desarrollo de una gama de productos a base de manzana que se destinen tanto para consumo en el mercado interno como el de exportación. La variedad de manzana utilizada es la *Malus domestica* (nombre comercial Cripp's Pink). Dentro de los productos ensayados se encuentran bebidas fermentadas y no fermentables. Los mismos fueron: jugo de manzana gasificado, sidra seca, sidra gasificada diluida, sidra gasificada sin diluir, sidra obtenida por fermentación en botella (Método Champenoise), aguardiente de manzana y jugo de manzana apagado con alcohol etílico. El proceso de elaboración seguido en todos los casos es similar en las etapas primarias, con particularidades específicas en las siguientes de acuerdo al tipo de producto que se trate. Todos los productos obtenidos fueron analizados desde el punto de vista fisicoquímico y sensorial. A través de los resultados obtenidos, la propuesta muestra que desde el punto de vista tecnológico es factible alcanzar productos de calidad y que existe una posibilidad concreta de industrialización. Se espera que este trabajo constituya un principio de diferentes salidas alternativas a un problema importante que se plantea a nivel de la fruticultura, y que sea a su vez detonador de un intercambio constructivo entre todos los interesados, actores de la cadena productiva.

Palabras clave: aprovechamiento agroindustrial, excedentes de manzana, bebidas, industrialización, cadena productiva

Abstract

This is a technological proposal for finding ways to maximize the use of the increasing surplus of apples in the Uruguayan fruit growing industry. This paper is meant as a contribution to identify industrial alternatives, by developing a number of apple based products that may be used for internal consumption and also for export. The variety of apple being used is *Malus domestica* (its commercial name is Cripp's Pink). Among the products on trial there were fermented and not fermented beverages, such as: apple juice with soda, dry cider, diluted carbonated cider, carbonated cider with no dilution, bottle fermented cider (Champenoise Method), apple liquor, and apple juice with a touch of ethyl alcohol. In all cases the elaboration process in the primary stages is similar, and in the following stages it gets more specific depending on the product being made. All the products were analyzed from a physicochemical and sensorial point of view. The results obtained have proved that it is technically possible to obtain very good products, and that there is a real possibility for industrialization. We expect to have shown different alternatives to solve an important problem in the fruit growing area and that we hope this may serve as a detonator for a constructive exchange among all the actors in the production area.

Key words: agro industrial maximization, apple surplus, beverages, industrialization, productive chain.

Introducción

En Uruguay se viene observando en los últimos años un incremento de la producción de manzanas que responde al aumento de las plantaciones. En 2005 se realizaron las últimas plantaciones de frutales de hoja caduca en el marco del Programa de Reconversión y Desarrollo de la Granja (PREDEG), lo que explica el alto nivel de inversión del año, ya que los productores hicieron uso de los últimos subsidios del programa.

Como resultado de las plantaciones realizadas en los años recientes, en 2005 se tuvo la máxima producción de manzanas. Ese año el mercado interno debió absorber aproximadamente 67.000 toneladas de fruta, de las cuales 53.000 se destinaron al consumo como fruta fresca y 14.000 a la industrialización (sidra, dulces, pulpas, etc.). Las exportaciones fueron récord histórico, alcanzando un volumen de 11.000 toneladas por un valor de casi 5 millones de dólares. Este nivel de exportaciones representó un aumento de un 30 % en volumen y de un 47 % en términos de valor con respecto al año anterior. Si bien las exportaciones crecen año a año, el incremento no acompaña la mayor

oferta de fruta, destinándose para el mercado interno un volumen superior a los niveles de demanda, lo que determina bajos precios del mercado y dificultades de colocación.

El país ya ha superado los 3 millones de plantas, de los cuales un 25 % aún no está en producción y, según las últimas encuestas frutícolas, en este último invierno se plantaron unas 280.000 plantas más, aproximadamente el 9 % del total. En consecuencia, en el mediano plazo la producción seguirá creciendo. Algunas estimaciones realizadas indican que las inversiones en el marco de la reconversión agregarán a la oferta interna en el corto plazo más de 40.000 toneladas de manzana, por lo que es posible esperar que en 2010 la producción nacional supere las 100.000 toneladas anuales.

El consumo interno de fruta fresca absorbe un máximo de 50.000 toneladas para el consumo en fresco y aproximadamente 10.000 para industrializar. De cumplirse las proyecciones de crecimiento de la oferta, será imprescindible colocar en mercados externos entre 40.000 y 50.000 toneladas de fruta. En caso de no poder desarrollarse una estrategia sustentable en el mediano plazo, el rubro puede afrontar serios problemas (Tambler, 2005). Es por ello que se busca destinar estos excedentes de manzana para la elaboración de distintos productos

que sean comercializables tanto en el mercado interno como externo.

La cosecha de manzana de 2006 fue más baja de lo esperado y de la obtenida el año anterior. La menor producción determinó una caída en las exportaciones, una colocación fluida en el mercado interno, subas notorias de precios hacia el final de la zafra y algunas importaciones para abastecer el mercado en los últimos meses del año. El 79 % de la oferta de manzana se destinó hacia el consumo en fresco (unas 48.000 toneladas), la industria procesó el 9 % (5.000 toneladas) y la exportación un 13 % (7.500 toneladas). El consumo en fresco fue inferior al del año anterior (-10 %), mientras que el destino industrial cayó 60 % y la exportación 34 %. En general, la industria es un destino de excedentes y de precios muy poco remunerativos, por lo que es el último destino buscado por los productores (Tambler, 2006).

Dados los antecedentes mencionados de aumento en los excedentes de manzana, se espera que este trabajo constituya un principio de diferentes salidas alternativas a este problema que se plantea a nivel de la fruticultura. Se espera también que sea detonador de un intercambio constructivo entre todos los interesados y que genere a partir de los conocimientos y experiencias adquiridas nuevas líneas de acción futura que consoliden respuestas efectivas.

El objetivo del trabajo es, por tanto, contribuir a la identificación de alternativas de industrialización de los descartes de manzana de exportación. Una de las opciones que se plantea es el desarrollo de diferentes productos bebibles fermentados y no fermentables.

Los productos ensayados son:

1. Jugo de manzana clarificado gasificado
2. Sidra seca
3. Sidra gasificada diluida
4. Sidra gasificada sin diluir
5. Sidra obtenida por fermentación en botella (Método Champenoise)
6. Aguardiente de manzana
7. Jugo de manzana apagado con alcohol etílico

Para el producto a ensayar jugo de manzana gasificado, se toman como base trabajos anteriores desarrollados en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) (Moyano et al. 1981) y además se toman como referencias otras publicaciones (Ashurst, 1999; Ashurst, 2005) Para el resto de los productos a ensayar no se dispone de antecedentes particulares, por lo cual se hace uso de experiencias adquiridas por parte de los técnicos asignados a este trabajo, además de recurrir a algunas referencias bibliográficas (Rose, 1977; Salas Bringas, 1999; Algood et al.).

Materiales y Métodos

A continuación se detalla el equipamiento utilizado:

- Balanza de planta, máx. 500 kg, marca FLORENZ
- Lavador de cilindro rotatorio por aspersión, marca LOPEZ CARRILLO
- Tinajas de lavado, de acero inoxidable
- Molino de martillo de acero inoxidable, marca AMOS
- Prensa de pistón hidráulico, marca AMOS
- Filtro de placas, marca SCHENK
- Pasteurizador de placas, marca SCHMIDT
- Enfriador tubular, marca Meitar
- Paila de acero inoxidable, de doble camisa, marca Hwolff
- Gasificadora manual de 6 cuerpos
- Tapadora manual
- Colocadora de bozales
- Cámara de refrigeración (5 °C) marca Tupiniquim
- Baño termostático, con rango de temperatura desde -20 °C a temperatura ambiente
- pHímetro marca Digitalmeter Digi 610 WTW

- Refracómetro marca Abbe Mark II

Los métodos analíticos utilizados son los siguientes:

- pH: basado en método ISO 1842:1991(E).
- °Brix: basado en método ISO 2173:2003 (E).
- Acidez total: basado en método ISO/F DIS 750:1998(E).
- Acidez volátil: basado en Compendium of International Methods of Analysis (OIV A11)]
- Grado Alcohólico: basado en Compendium of International Methods of Analysis (OIV A2)]
- Azúcares reductores (Fehling): basado en método Cousse Bonnans
- Extracto seco por cálculo densimétrico.
- Anhídrido Sulfuroso libre: basado en Compendium of International Methods of Analysis (OIV A17).
- Anhídrido Sulfuroso total: basado en Compendium of International Methods of Analysis (OIV A17).
- Densidad: basado en Compendium of International Methods of Analysis (OIV A2).
- Análisis Sensorial Escala hedónica estructurada de 9 puntos.

Parte experimental

La materia prima utilizada, variedad *Malus domestica* (nombre comercial Cripp's Pink), resultante de excedente de exportación, aportada por un productor de manzanas, fue acondicionada y transportada en bins hacia el LATU donde se la recibe y acondiciona para el tratamiento posterior. Todos los ensayos se llevaron a cabo en la Planta Piloto del LATU, la cual dispone de equipos apropiados para desarrollar a escala experimental las pruebas programadas.

Las etapas primarias de elaboración son similares en todos los casos, pues el insumo inicial es la pulpa de manzana a partir del cual derivan los distintos productos.

Procedimientos

• Etapas preliminares para la elaboración de la pulpa de manzana base

Los pasos seguidos para la realización de los ensayos son la recepción, la selección y el pesado.

La manzana se pesa en balanza de planta y se selecciona en función de su estado sanitario, descartándose aquella en avanzado estado de descomposición.

Lavado:

La materia prima seleccionada recibe un triple tratamiento:

1. Lavado con agua de línea con lavador de cilindro rotatorio por aspersión.
2. Desinfección con agua clorada 50 mg/L en inmersión en tinajas de acero inoxidable.
3. Enjuagado con agua clorada 2 mg/L por lluvia en lavador cilindro rotatorio por aspersión.

Molienda:

Se tritura la manzana mediante molino de martillo, recogiendo la pulpa molida en tarrinas. La pulpa molida obtenida constituye el insumo principal del proceso que caracteriza a cada producto formulado.

Productos ensayados

1) Jugo de manzana clarificado gasificado

Luego de la molienda, prosigue el prensado, el pesado y la colocación en tarrinas.

Prensado:

La manzana molida se coloca en una prensa de pistón hidráulico de marcos y telas. El jugo comienza a extraerse y se recoge en una bandeja inferior para su posterior recolección en tarrinas.

Clarificación:

Al jugo obtenido envasado en tarrinas se le adiciona metabisulfito de sodio (80 mg/L) y bentonita (1,5 g/L), con el propósito de reducir la oxidación enzimática y facilitar la clarificación por decantación de la pulpa suspendida durante la fase de reposo.

El bagazo (cáscara, semillas y parte de pulpa retenida en las telas) es pesado y posteriormente descartado. El rendimiento de jugo obtenido en las condiciones de trabajo descritas fue de 66,7 %.

Reposo:

A estos efectos, las tarrinas son colocadas en cámaras de refrigeración entre 2-5 °C, durante 10-12 horas para favorecer la clarificación del jugo.

Filtrado, pasteurizado y enfriado:

Una vez clarificado, el jugo es trasegado y filtrado a través de filtro de placas (porosidad 10 µm). Se agrega sorbato de potasio (400 mg/L) como conservador químico antimicrobiano, ya que no se dispone de sistema de tratamiento térmico con llenado aséptico. Al jugo se le realiza un tratamiento térmico –pasteurizado– durante tres minutos a 92 °C en un pasteurizador de placas. El jugo pasteurizado es enfriado en un enfriador tubular hasta alcanzar temperaturas de 4 °C.

Llenado en botella, gasificado, tapado y almacenado:

El jugo refrigerado se envasa en botellas de vidrio de 750 ml, se gasifica mediante gasificadora manual, de tal forma de obtener entre 3 y 4 atmósferas de presión, se tapa utilizando una tapadora manual y se almacena. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

2) Sidra seca

Luego de la molienda, se prosigue con las siguientes etapas:

Prensado, pesado y colocación en tarrinas:

Se repiten las operaciones anteriores excepto la clarificación. Esta vez al jugo obtenido mantenido en tarrinas se le adiciona metabisulfito de sodio (80 mg/L), enzima pectolítica derivada de *Aspergillus niger* (4 mg/L) y levadura *Saccharomyces cerevisiae* (200 mg/L).

El bagazo es pesado y posteriormente descartado. Los rendimientos de jugo son similares al caso anterior y se repiten para los siguientes productos fermentados.

Fermentación:

A estos efectos, las tarrinas son colocadas en Planta Piloto a temperatura ambiente, donde comienza el proceso de transformación biológica química del azúcar natural del jugo en alcohol. El criterio adoptado en forma práctica y sencilla para decidir la finalización de la fermentación fue el valor de los °Brix o % de Sólidos Solubles (expresados como gramos de sacarosa por 100 g de producto), partiendo de 14.5 °Brix y llegando a aproximadamente 5 °Brix.

Trasiego, clarificado y filtrado:

Una vez alcanzados los 5 °Brix, se procede al primer trasiego, para luego incorporar bentonita (1.5 g/L) como agente clarificante,

proceso que se realiza a temperatura ambiente. Luego de clarificado, se trasega y agrega metabisulfito de sodio (100 mg/L), sorbato de potasio (300 mg/L) y ácido cítrico (300 mg/L). Por último es filtrado a través de filtro de placas (porosidad 10 µm).

Llenado en botella, tapado y almacenado:

La sidra se envasa en botellas de vidrio de 750 ml, se tapa, mediante tapadora manual y se almacena. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

3) Sidra gasificada diluida

Todo el proceso previo hasta el trasiego es similar al caso anterior (sidra seca), al igual que el rendimiento en jugo obtenido.

Trasiego, clarificado y filtrado:

Una vez clarificado, el fermentado se trasega y agrega metabisulfito de sodio (150 mg/L), sorbato de potasio (450 mg/L), ácido cítrico (300 mg/L), agua (0.5 litros de agua/ Litro de sidra seca) y azúcar (100 g de azúcar/Litro de sidra seca). Por último se filtra a través de filtro de placas (porosidad 10 µm).

(Nota: la cantidad de agua agregada fue determinada en base a un cálculo teórico de grado alcohólico).

Llenado en botella, gasificado, tapado y almacenado:

La sidra se envasa en botellas de vidrio de 750 ml y refrigera en cámara hasta llegar a una temperatura entre 5-8 °C, procediéndose entonces a la gasificación, mediante gasificadora manual, de tal forma de obtener entre 3 y 4 atmósferas de presión. Finalmente se tapa, con tapadora manual y se almacena. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

4) Sidra gasificada sin diluir

El proceso es el mismo que el de obtención de sidra gasificada diluida, hasta el segundo trasiego.

Trasiego y filtrado:

El fermentado clarificado se trasega y agrega metabisulfito de sodio (100 mg/L), sorbato de potasio (300 mg/L), ácido cítrico (300 mg/L) y azúcar (100 g de azúcar/ Litro de sidra seca). Por último se filtra a través de filtro de placas (porosidad 10 µm).

Llenado en botella, gasificado, tapado y almacenado:

Se procede de igual forma que para sidra gasificada diluida. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

5) Sidra fermentación en botella (método Champenoise)

El proceso se repite hasta el segundo trasiego, cuando el fermentado ha sido clarificado.

Trasiego, filtrado y 2ª fermentación:

Una vez clarificado, el producto fermentado es trasegado y filtrado a través de filtro de placas (porosidad 10 µm). Luego es colocado en tarrinas en donde se le agrega levadura *Saccharomyces cerevisiae* (300 mg/L) y azúcar (25 g de azúcar/Litro de sidra seca) para dar comienzo a la segunda fermentación. También se le adiciona bentonita (1.5 g/L) para favorecer el arrastre de las borras.

Envasado preliminar y reposo:

El llenado en botella se realiza cuando da comienzo la segunda fermentación. La sidra es envasada en botellas de vidrio de 750 ml y tapada con cápsula contenedora de borras y tapa corona. Las botellas son colocadas en posición horizontal en cajones y conservadas a temperatura ambiente. El criterio empleado para la colocación de botellas en pupitres fue la presencia de gas carbónico producido por la

fermentación dentro de la botella al destaparla. Las botellas en pupitres se conservan en sala climatizada a 21 °C, rotando los envases una vez al día para favorecer el desplazamiento de las borras hacia la cápsula contenedora ubicada en el pico de la botella.

Degollado, tapado y almacenado:

Una vez que las borras se ubican en la cápsula contenedora, las botellas se trasladan en sus pupitres a cámara de refrigeración (2-5 °C), para bajar la temperatura del líquido y del envase de forma uniforme, minimizando los tiempos posteriores de congelado del pico. Luego se procede al congelado de los cuellos de las botellas, mediante el uso de baño termostático con solución salina al 10 %. Dicho baño alcanzó temperaturas de -20 °C en la solución. Una vez congelado el pico, se procede al degollado de los mismos para retirar las borras. A cada botella de 750 ml se le agrega 50 ml de licor de expedición *. Luego, de ser necesario, se completa el volumen de cada botella con sidra de la misma partida.

Para este proceso de fabricación se siguen los conceptos originales de la elaboración tradicional de vinos cava por el método Champenoise. El mismo contempla en su gama de productos, la posibilidad de agregar licor de expedición, obteniendo de esta manera la variante demi-sec.

Por tanto, el objetivo de usar un licor de expedición en esta experiencia es obtener un bouquet diferente, usando un producto como el aguardiente de manzana originario de la propia fruta.

Finalmente se tapa y almacena a temperatura ambiente. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

* El licor de expedición para cada botella (50 ml) está compuesto de aguardiente de manzana 43 °G.L. (24.6 ml), azúcar (36.9 g) y agua (3.3 ml).

6) Aguardiente de manzana

El procedimiento para la obtención del jugo y las etapas siguientes hasta la finalización de la fermentación cuando el producto alcanza los 5 °Brix. Luego se procede como sigue:

Trasiego y clarificado:

Se procede al primer trasiego y luego se incorpora bentonita (1.5 g/L) como agente clarificante.

2do Trasiego y colocación en tarrinas:

Una vez clarificado, se trasiega nuevamente y se coloca en tarrinas en donde se le agrega metabisulfito de sodio (2000 ppm) para su conservación, dado que su destino no será el consumo directo. A las borras obtenidas en este proceso se le incorporan las obtenidas en el resto de las experiencias. Se agrega metabisulfito de sodio a razón de 2000 ppm para su conservación. Una vez que las borras vuelven a sedimentar, se obtienen los claros de borras. Estos claros se agregan a la sidra seca descrita en la etapa anterior (trasiego y clarificado), de modo de aumentar el volumen para su posterior utilización.

Destilado:

El total de la sidra seca obtenida en este proceso es destilada en una paila de acero inoxidable, de doble camisa, modificada a efectos de simular un destilador. Se parte de una sidra seca con 7.8 °G.L., ajustándose los volúmenes para obtener un destilado con 43 °G.L. En las condiciones de la experiencia, son necesarios 5.5 L de sidra seca para obtener 1 L de aguardiente de manzana.

Envasado y almacenado:

El destilado es envasado en botellas de vidrio de 500 ml y almacenado a temperatura ambiente. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

7) Jugo de manzana apagado con alcohol etílico

En este caso particular, el jugo extraído luego del prensado, recibe un procesamiento diferente que consiste en la adición de alcohol etílico 95° (en relación jugo:alcohol 5:1) y bentonita (1,5 g/L) . Posteriormente pasa a cámara de refrigeración para reposar.

Reposo en cámara de refrigeración:

Las tarrinas con el jugo tratado son colocadas en cámaras de refrigeración entre 2-5°C para favorecer la clarificación del producto.

Trasiego y filtrado:

El jugo, una vez clarificado y trasegado, es filtrado a través de filtro de placas (porosidad 10 µm).

Envasado y almacenado:

El jugo se envasa en botellas de vidrio de 750 ml y almacena a temperatura ambiente. Los resultados analíticos se presentan en Tablas 1 y 2 (Resultados y Discusión).

Resultados y Discusión

Todos los productos obtenidos fueron analizados desde el punto de vista fisicoquímico y sensorial.

Análisis fisicoquímicos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de todos los productos se presentan en la Tabla 1.

Análisis	Resultado
Jugo de manzana clarificado gasificado	
pH	4.20
°Brix	13.6
Análisis	Resultado
Sidra seca	
pH	3.78
°Brix	4.91
Acidez volátil	0.25 g acet/L
Acidez total	3.49 g tart/L
Azúcares reductores	2.3 g gluc/L
Extracto seco	18.7 g/L
Anhídrido Sulfuroso libre	6 mg/L
Anhídrido Sulfuroso total	70 mg/L
Densidad	0.99615 g/ml
Grado alcohólico	7.92 %vol
Sidra gasificada diluida	
pH	3.70
°Brix	12.77
Acidez volátil	0.25 g acet/L
Acidez total	2.64 g tart/L

Azúcares reductores	114.2 g gluc/L
Extracto seco	120.1 g/L
Anhídrido Sulfuroso libre	8 mg/L
Anhídrido Sulfuroso total	68 mg/L
Densidad	1.03834 g/mL
Grado alcohólico	4.22 %vol
Sidra gasificada sin diluir	
pH	3.77
°Brix	14.34
Acidez volátil	0.27 g acet/L
Acidez total	3.53 g tart/L
Azúcares reductores	114.2 g gluc/L
Extracto seco	128.2 g/L
Anhídrido Sulfuroso libre	7 mg/L
Anhídrido Sulfuroso total	80 mg/L
Densidad	1.03714 g/ml
Grado alcohólico	7.20 %vol
Sidra fermentación en botella	
pH	3.88
°Brix	9.80
Acidez volátil	0.20 g acet/L
Acidez total	2.75 g tart/L
Azúcares reductores	61.4 g gluc/L
Extracto seco	71.8 g/L
Anhídrido Sulfuroso libre	4 mg/L
Anhídrido Sulfuroso total	48 mg/L
Densidad	1.01316 g/mL
Grado alcohólico	9.10 %vol
Aguardiente de manzana	
Alcohol metílico	2,7 ml/L
Grado alcohólico	42.7 %vol
Jugo de manzana apagado con alcohol etílico	
pH	4.07
°Brix	17.41
Acidez volátil	0.02 g acet/L
Azúcares reductores	129.8 g gluc/L
Densidad	1.02677 g/ml
Grado alcohólico	16.08 %vol

Tabla 1. Resultados de análisis fisicoquímicos.

Análisis sensorial

A cada producto se lo somete a una degustación para evaluar su grado de aceptabilidad comercial. La prueba de evaluación sensorial es realizada por un grupo de consumidores. El parámetro evaluado fue el agrado general. El nivel de aceptación se mide utilizando una escala hedónica de nueve puntos del 1 al 9, donde 1 es Me disgusta extremadamente y 9 es Me gusta extremadamente.

Se toma como criterio para que un producto sea aceptable que éste reciba puntajes iguales o mayores a 5. A continuación se presenta la escala hedónica de 9 puntos utilizada:

- 1 – Me disgusta extremadamente
- 2 – Me disgusta mucho
- 3 – Me disgusta moderadamente
- 4 – Me disgusta ligeramente
- 5 – Ni me gusta ni me disgusta
- 6 – Me gusta ligeramente
- 7 – Me gusta moderadamente
- 8 – Me gusta mucho
- 9 – Me gusta extremadamente

En la Tabla 2 se presentan los puntajes obtenidos para cada producto desarrollado, que corresponden al valor promedio entre todos los juicios.

Producto	Resultado
Jugo de manzana clarificado gasificado	7.1
Sidra seca	4.8
Sidra gasificada diluida	6.9
Sidra gasificada sin diluir	7.3
Sidra fermentación en botella	7.1
Aguardiente de manzana	5.5
Jugo de manzana apagado con alcohol etílico	5.6

Tabla 2. Análisis sensorial.

1) Jugo de manzana clarificado gasificado

De acuerdo a los resultados sensoriales, el producto es aceptado por los consumidores. Se podría estimar que cumple con las expectativas planteadas de producto natural levemente ácido, gasificado y sin el agregado de colorantes, saborizantes o azúcares. Podría comercializarse dentro de la gama de refrescos o bebidas refrescantes gasificadas sin alcohol.

Si bien para los ensayos se utilizaron envases de vidrio, el jugo podría comercializarse en envases Pet.

2) Sidra seca

Según los resultados sensoriales, el producto no es aceptado por los consumidores. Este resultado podría estar relacionado a la inexistencia de productos similares en el mercado interno, por lo que el consumidor no tendría parámetros de comparación.

3) Sidra gasificada diluida

Si bien los resultados sensoriales son positivos en cuanto al

grado de aceptabilidad, con respecto a los resultados fisicoquímicos, el producto se acerca a los límites especificados en el Reglamento Bromatológico Nacional en lo que a grado alcohólico refiere (límite de 4,5 % vol de alcohol), impidiendo su comercialización.

4) Sidra gasificada sin diluir

De acuerdo a los resultados sensoriales, esta sidra es aceptada por los consumidores, obteniendo el mayor puntaje entre todos los productos ensayados. Si se cotejan los resultados entre sidra gasificada sin diluir y la diluida (Tabla 1), se observa que las diferencias en acidez y grado alcohólico son menores para la sidra diluida, sin presentar diferencias en azúcares reductores.

Una de las conclusiones que podemos derivar es que el consumidor perciba y prefiera una sidra con mayor grado alcohólico y sus demás componentes naturalmente balanceados.

5) Sidra fermentación en botella

Según los resultados sensoriales, el producto obtenido es aceptado por los consumidores, sin embargo se deben hacer las siguientes precisiones:

- El momento del año disponible para la ejecución de este ensayo (fin del invierno) evitó la correcta fermentación secundaria a temperatura ambiente.

- El producto final presenta turbidez. La misma se debe a presencia de borra, consecuencia de dos factores:

- 1) el tiempo en pupitre empleado para la precipitación de las borras hacia el cuello no fue suficiente.

- 2) el uso de muy bajas temperaturas en el congelado del cuello previo al degollado causó que las borras se pegaran al vidrio del mismo, evitando su correcto desplazamiento hacia el exterior.

Por lo dicho, el proceso y metodología empleados para la obtención de este producto pueden ser mejorados.

6) Aguardiente de manzana

Según los resultados sensoriales, este producto es aceptado levemente por los consumidores. Analizando los puntajes asignados por los evaluadores, se observa gran variabilidad entre los mismos, donde un 40,7 % opinó que le gusta ligeramente. Los valores de alcohol metílico registrados están por encima de lo permitido por la reglamentación (valor máximo permitido 2,0 ml/L).

7) Jugo de manzana apagado con alcohol etílico

Esta es una bebida a base de jugo de manzana a la que no se le permite fermentar mediante el agregado de alcohol etílico, alcanzando valores entre 16-19 %vol. Esta característica le da perfil de licor para postres o aperitivos.

Según los resultados sensoriales, el producto obtenido es aceptado levemente por los consumidores. Al analizar los puntajes asignados por los evaluadores, se observa gran variabilidad entre los mismos, donde un 66 % emitió juicios con puntaje iguales o mayores a 6.

Dentro de los juicios de los consumidores se leen comentarios como: “algo fuerte de más por el alcohol”, “me resultó con mucho gusto a alcohol”, “demasiado alto el porcentaje alcohólico”, “no se distingue el gusto a manzana, mucho gusto a alcohol”. Esto puede deberse a que el producto no se dejó reposar lo suficiente como para que se encuentren balanceados los componentes y a la clara falta de acidez en el jugo de manzana. Cabe aclarar que para el caso de la Mistela (jugo de uva apagado con alcohol etílico), es usual un reposo de 6 meses a partir de la fecha de elaboración.

A continuación se presentan algunas recomendaciones sobre aspectos particulares de cada producto, que deberían tenerse en cuenta en futuros desarrollos para mejorar su aceptabilidad y adecuarlos en los casos que correspondiera a la normativa vigente.

1) Jugo de manzana gasificado

Si bien los valores de sólidos solubles y pH son adecuados para este tipo de producto, se recomienda reducir el pH acidificando el medio para llegar a valores en el entorno de 3,9 – 4,0 a fin de aumentar el rango de seguridad del producto. Se considera que este cambio haría más atractivo el producto desde el punto de vista sensorial.

2) Sidra seca

Para lograr cotejar los resultados sensoriales, se recomienda en futuras experiencias conseguir muestras de este tipo de producto en países donde el mismo se comercialice.

3) Sidra gasificada diluida

La recomendación para futuras experiencias es ajustar el grado alcohólico (a valores reglamentarios), acidez y azúcar (sacarosa agregada).

4) Sidra gasificada sin diluir

En vista de los resultados obtenidos a nivel sensorial, se recomienda que los futuros ensayos incluyan otras variedades de manzana para obtener sidras varietales o cortes en función de los volúmenes existentes.

5) Sidra fermentación en botella

Para futuras experiencias se recomienda:

- Iniciar la fermentación secundaria inmediatamente después de la primaria, entre marzo y abril.
- Respetar los tiempos en pupitres dispuestos para la elaboración de vinos cava por el método Champenoise.
- Ajustar la temperatura del baño de inmersión donde se realiza el congelado de las borras de los cuellos de las botellas, para que las mismas se retiren fácilmente.

Es recomendable el agregado de sorbato de potasio en el licor de expedición como agente conservador.

6) Aguardiente de manzana

Debido a la variabilidad en los puntajes asignados por los evaluadores sensoriales, se recomienda recurrir a consumidores habituales de este tipo de bebidas. Para aumentar los rendimientos (litros aguardiente/litros sidra seca), se sugiere el estudio de variedades de levaduras que cumplan con este requisito.

7) Jugo de manzana apagado con alcohol etílico

En este caso se deben realizar estudios que determinen el tiempo de reposo necesario previo al envasado.

Otro factor a considerar es la variedad de manzana. Se podría ensayar con variedades comerciales más aromáticas, por ejemplo Red Delicious, o cortes de ésta con Granny Smith (por su acidez). También es interesante el estudio de correcciones de acidez mediante agregado de ácido málico, ácido cítrico o de ambos ácidos a la vez, teniendo en cuenta parámetros fisicoquímicos y sensoriales.

Otra variable a evaluar es el uso de otro tipo de alcohol, como por ejemplo alcohol de cereales, alcoholes desodorizados a través de prácticas como el uso de carbón o el uso de alcoholes obtenidos por la destilación de sidra seca (aguardiente de manzana), con el objetivo de disminuir el fuerte “aroma a alcohol” descrito por algunos evaluadores sensoriales.

Conclusiones

Los productos obtenidos y evaluados tanto analítica como sensorialmente sugieren una posibilidad concreta de industrialización.

En líneas generales se estima que los resultados obtenidos permiten acercar una probable alternativa de aprovechamiento comercial de los excedentes de manzana de exportación, factible, a su vez, desde el punto de vista tecnológico.

La decisión final acerca de su pertinencia productiva e industrial será resultado de una evaluación más pormenorizada de su factibilidad económica y comercial, desarrollada por los grupos interesados y afectados por la situación: productores de manzana y elaboradores de sidra.

Referencias

- ALGOOD, Tammy ; MORRIS, William; LOCKWOOD, David. *Fruit and nuts: home apple cider production* [En línea]. University of Tennessee: Tennessee, [s.d.]. [Consulta 24 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.utextension.utk.edu/publications/spfiles/SP307-O.pdf>
 - ASHURST, P. R. *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices*. 2a. ed. Oxford: Blackwel, 2005.
 - ASHURST, P. R. *Production and packaging of non-carbonated fruit juices and fruit beverages*. 2a ed. Maryland: Aspen, 1999.
 - MOYANO, C., et al. *Jugo natural integral de manzana*. Montevideo: Laboratorio Tecnológico del Uruguay, 1981. (Monografías Tecnológicas. Serie Frutas y Hortalizas; 2)
 - ROSE, A. H. *Alcoholic beverages*. New York: Academic Press, 1977. (Economic microbiology ; 1)
 - SALAS BRINGAS, Mónica. Procesamiento y calidad de sidra en Valdivia-Chile [En línea]. En: *Agro Sur*. 1999, 27(1): 1-9. [Consulta: 06 de octubre de 2008]. Disponible en: http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-88021999000100001&lng=es&nrm=iso
 - TAMBLER, A. Frutales de hoja caduca: situación actual y perspectivas [En línea]. En: *Anuario 2005*. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. OPYPA, 2005. [Consulta: 24 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario05/CadenasProductivas/frutales%20hoja%20cadu.pdf>
 - TAMBLER, A. Frutales de hoja caduca: situación actual y perspectivas [En línea]. En: *Anuario 2006*. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. OPYPA, 2006. [Consulta: 24 de setiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario06/docs/19%20-%20FRUTALES%20T.pdf>
-



Nº 15367

Swiss Association for Quality
and Management Systems



ISO 9001:2000
Nº 15367

International
Certification Network



1983

United Kingdom
Accreditation Services



Avda. Italia 6201 - CP 11500
MONTEVIDEO - URUGUAY
Tel. (598 2) 601 3724 - Int. 200
Fax. (598 2) 601 3724 - Int.119
atencionalcliente@latu.org.uy
www.latu.org.uy