

Efecto de la variedad y de la humedad de cosecha en la temperatura de transición vítrea de variedades uruguayas de arroz

Effect of rice variety and harvest moisture content on the glass transition temperature of Uruguayan rice varieties

Efeito da variedade e da humidade de colheita na temperatura de transição vítrea de variedades uruguaias de arroz

RECIBIDO: 10/9/2019 → APROBADO: 2/4/2020 ✉ lagarcia@latitud.org.uy

✉ GARCÍA LLOBODANIN, LAURA (1); PONCE DE LEÓN, NATALIA (1);
MOREIRA, SEBASTIÁN (1); BILLIRIS, ALEJANDRA (1);

(1) LATITUD – FUNDACIÓN LATU. MONTEVIDEO, URUGUAY

RESUMEN

La temperatura de transición vítrea (T_g) de un material es el rango de temperaturas donde ocurre la transición entre un estado cauchoso y un estado vítreo, produciéndose cambios que se ven reflejados en sus propiedades fisicoquímicas. El objetivo de este trabajo es determinar las curvas de transición vítrea (T_g vs. Humedad de grano) de tres variedades uruguayas de arroz y evaluar si existen diferencias significativas entre ellas. Se estudia también la influencia de la humedad de cosecha (HC). Para ello, cada muestra de arroz se seca por diferentes períodos de tiempo para obtener humedades de grano (HG) en un rango entre 10% y 22% (en base húmeda).

A continuación, se mide la T_g por calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los resultados se comparan aplicando ANOVA y el test de Tukey. Se observó que la T_g aumenta a medida que disminuye la HG para las tres variedades estudiadas. Las curvas de transición vítrea muestran que existen diferencias significativas entre las tres variedades en el rango de HG de 12% a 16%. La HC no afectó la T_g en todo el rango estudiado. Los resultados obtenidos pueden aplicarse para optimizar el proceso de secado del arroz, minimizando la formación de fisuras.

PALABRAS CLAVE: secado de arroz, calorimetría diferencial de barrido, DSC.

ABSTRACT

The glass transition temperature (T_g) of a material is the range of temperatures where the transition between a glassy and a rubbery state occurs, producing changes that are reflected in its physicochemical properties. The objective of this research is to determine the glass transition curves (T_g vs. grain moisture content) of three Uruguayan rice varieties and assess whether there are significant differences among them. The influence of the harvest moisture content (HMC) is also evaluated. To do this, each rice sample is dried for different periods of time to obtain grain moisture contents (GMC) in a range between 10% and 22% (on a wet basis).

The T_g is then measured by differential scanning calorimetry (DSC). The results are compared by applying ANOVA and the Tukey test. It was observed that the T_g increases as GMC decreases for the three varieties studied. The glass transition curves show that there are significant differences among the three varieties in the range of GMC going from 12% to 16%. The HMC did not affect the T_g in the range studied. The results obtained can be applied to optimize the rice drying process, minimizing the formation of fissures.

KEYWORDS: rice drying, differential scanning calorimetry, DSC.

RESUMO

A temperatura de transição vítrea (T_g) de um material é o intervalo de temperaturas em que ocorre a transição entre um estado borrachoso e um estado vítreo, produzindo-se alterações que se refletem em suas propriedades físico-químicas. O objetivo deste trabalho é determinar as curvas de transição vítrea (T_g x Umidade de grão) de três variedades de arroz uruguaias e avaliar se há diferenças significativas entre elas. A influência da umidade de colheita (UC) também é estudada. Para isso, cada amostra de arroz é secada por diferentes períodos de tempo para obter umidades de grão (UG) em um intervalo entre 10% e 22% (em base úmida).

A seguir, a T_g é medida por calorimetria de varredura diferencial (DSC). Os resultados são comparados aplicando ANOVA e o teste de Tukey. Observou-se que a T_g aumenta à medida que a UG diminui nas três variedades estudadas. As curvas de transição vítrea mostram que há diferenças significativas entre as três variedades no intervalo de UG de 12% a 16%. A UC não afetou a T_g em todo o intervalo estudado. Os resultados obtidos podem ser aplicados para otimizar o processo de secagem do arroz, minimizando a formação de fissuras.

PALAVRAS CHAVE: secagem de arroz, calorimetria de varredura diferencial, DSC.

INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los cereales más consumidos alrededor del mundo. Está compuesto principalmente por agua y diferentes biopolímeros (Sun, et al., 2002). El almidón, principal biopolímero del arroz, tiene una estructura semi-cristalina formada por moléculas de amilosa casi lineales y moléculas de amilopectina altamente ramificadas (Zeleznaek y Hosenev, 1987). La amilosa y los puntos de ramificación de la amilopectina

constituyen la fase amorfa, mientras que las cadenas de ramificación de la amilopectina constituyen la fase cristalina del gránulo de almidón (Perdon, et al., 2000).

La composición del almidón tiene una fuerte influencia en las propiedades del arroz. El fenómeno de transición vítrea ocurre en la parte amorfa, siendo la temperatura de transición vítrea (T_g) el rango de temperaturas donde se transita del estado vítreo al estado cauchoso (Liu, et al., 2010). Durante la transición, el material sufre una serie de cambios drásticos que se reflejan en diversas propiedades de este. La dureza, el módulo de elasticidad y las fuerzas de tracción y compresión tienen un valor mayor en la zona vítrea respecto a la cauchosa, mientras que el calor específico, el volumen específico y el coeficiente de expansión son menores (Kunze, et al., 2004). Estos cambios en las propiedades del material se utilizan para determinar la T_g empleando diferentes técnicas. Las más utilizadas son la calorimetría diferencial de barrido (DSC), basada en el cambio de la capacidad calorífica, y el análisis mecánico dinámico (DMA), basado en un cambio en las propiedades de elasticidad y viscosidad del material (Liu, et al., 2010; Perdon, et al., 2000).

La T_g depende de diversos factores, tales como la humedad de grano (HG), la composición del almidón y las dimensiones del grano de arroz. Perdon et al. (2000) determinaron la T_g del arroz Bengal (cultivar de grano medio con bajo contenido de amilosa) y del arroz Cypress (cultivar de grano largo con alto contenido de amilosa) a diferentes humedades de grano, con el fin de desarrollar un diagrama de estado de arroz cargo. Ellos no encontraron un efecto significativo del cultivar en la T_g . Siebenmorgen y otros. (2004) tampoco encontraron un efecto significativo de la variedad de arroz en la T_g cuando compararon arroz Bengal (grano medio) con arroz Drew (grano largo).

Conocer la T_g de una variedad es de fundamental importancia durante el proceso de secado de la misma. Secar a una temperatura por debajo de T_g (estado vítreo) implica un proceso de secado más lento ya que los gránulos de almidón están más compactos y el agua se encuentra relativamente inmóvil (Siebenmorgen, et al., 2004). Por el contrario, secar a temperaturas superiores a la T_g (estado cauchoso) es más rápido ya que las moléculas tienen una movilidad mayor, por lo que la humedad puede difundir hacia el exterior del grano más fácilmente. Sin embargo, el secado a altas temperaturas genera un gradiente severo de humedad dentro del grano de arroz, ya que el agua es removida de la superficie más rápido de lo que demora en migrar desde el centro del grano hacia la misma. Un gradiente de temperatura o de humedad puede generar dentro del grano regiones con diferentes propiedades mecánicas, ya que parte de este puede encontrarse en estado vítreo y parte en estado cauchoso (Perdon, et al., 2000). Estas diferencias crean tensiones de tracción y compresión que pueden resultar suficientes para fisurar el grano. El *tempering*, un proceso que mantiene los granos de arroz en recipientes a la temperatura de secado durante determinado lapso de tiempo, se utiliza para atenuar este efecto. El objetivo es disminuir el gradiente de humedad permitiendo que el agua migre desde el centro a la superficie del grano sin que exista evaporación en la superficie, y, por lo tanto, obtener una humedad uniforme dentro del mismo (Cnossen, et al., 2001). Cnossen y Siebenmorgen (2000) encontraron que altas temperaturas de secado pueden utilizarse sin reducir el ren-

dimiento siempre y cuando se aplique un período de *tempering* suficiente a temperaturas superiores a la T_g . De esta forma, conocer la T_g del arroz antes de iniciar el proceso de secado permite establecer las mejores condiciones de secado y *tempering*, optimizando el proceso y reduciendo la formación de fisuras.

Uruguay ha desarrollado sus propias variedades de arroz apuntando a un nicho de mercado de alta calidad. Dentro de este contexto, resulta de interés determinar la T_g de estas variedades de forma de optimizar el proceso de secado, aumentando así el rendimiento y la productividad económica.

El objetivo del presente trabajo es determinar las curvas de transición vítrea (T_g vs. HG) de tres variedades uruguayas de arroz y evaluar la influencia de la variedad y la humedad de cosecha en las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de arroz

Tres variedades de arroz uruguayas, Uy1, Uy2 y Uy3, son cosechadas en 2017 en la región sudeste del país. Las mismas habían sido caracterizadas anteriormente (determinación de longitud, ancho y espesor de grano promedios) pasando dos muestras de 150g de cada variedad por un clasificador de arroz por imagen (Selgros, Brasil).

Para las variedades Uy1 y Uy3, se recolectan muestras con dos humedades de cosecha (HC) diferentes para evaluar el efecto de este parámetro en la T_g . Todas las muestras son transportadas al laboratorio, donde se determinan sus humedades. A continuación, cada muestra se divide en tres submuestras (triplicado). Se coloca 1 kg de cada triplicado en una cámara de secado y se extraen muestras de 50 g de cada una a diferentes tiempos (correspondientes a diferentes HG). Se determina la HG y la T_g de cada una, según se detalla a continuación.

Secado y determinación de humedad

El arroz se seca en condiciones suaves usando una cámara con temperatura y humedad relativa del aire controladas (Alfa Laval Gruppe, Alemania), hasta alcanzar la HG deseada (entre 10% y 22% en base húmeda). Las condiciones del aire se regulan a 22°C y 65% de humedad relativa (HR) o 32°C y 50% de HR, dependiendo de las HG que se quieran alcanzar.

Para medir la HG, se muele la muestra en un molino manual (Kett, Japón), se pesan aproximadamente tres gramos en una cápsula de aluminio y se secan en una estufa de convección forzada (Mettler, Alemania) a 130°C durante una hora. El contenido de humedad de la muestra se calcula por gravimetría y se expresa como porcentaje en base húmeda.

Para muestras con HG mayor a 16%, se utiliza un método en dos etapas (Jindal y Siebenmorgen, 1987). Se pesan aproximadamente 20 g de arroz paddy, se dejan secar sobre la superficie de la estufa durante 24 horas y se pesan nuevamente (para determinar la pérdida de agua). Luego, se muelen aproximadamente tres gramos

de dicha muestra y se procede de la misma forma que para las muestras de HG menor a 16%.

Determinación de T_g

La T_g se mide utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC) siguiendo el procedimiento descrito por Perdon y otros. (2000). Este método se basa en la determinación de la variación de la capacidad calorífica cuando se produce la transición del estado vítreo al cauchoso. El equipo utilizado es un DSC Q2000 (TA Instruments, Estados Unidos) calibrado con indio. El rango de temperatura va de -50°C a 150°C , con una velocidad de calentamiento de $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Los granos se pelan manualmente y se cortan en tres partes iguales con bisturí. Posteriormente, se colocan en cápsulas de aluminio con tapa hermética (TA Instruments, Suiza) y se sellan. Como referencia se utiliza una cápsula vacía tapada y sellada. Se toma como T_g , la temperatura en el punto de inflexión de la curva de capacidad calorífica (calor en función de la temperatura). Se analizan un total de cinco granos de cada triplicado (quince granos para cada condición de variedad y HG), cuidando que no estén dañados ni tengan ningún defecto.

Análisis estadístico

Se comparan las T_g de las diferentes variedades a cada HG aplicando análisis de varianza (ANOVA de un factor). Dado que las humedades de grano de las muestras no son exactamente iguales, para obtener valores de T_g a una humedad de grano determinada y poder comparar, se realiza una interpolación lineal entre las dos HG más próximas. En caso de existir diferencia significativa entre las muestras, se aplica el test de Tukey para conocer cuáles son las muestras diferentes entre sí.

Para determinar si existe influencia de la HC en la T_g , se aplica ANOVA de un factor a las muestras de una misma variedad y diferentes HC, para las diferentes HG estudiadas. Nuevamente, para obtener valores de T_g a una humedad de grano determinada, se realiza una interpolación lineal entre las dos HG más próximas. Para todos los análisis se utiliza el programa JMP versión 12 (SAS Institute, Estados Unidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización dimensional de Uy1, Uy2 y Uy3. A pesar de que las tres variedades son consideradas de grano largo, se observa una diferencia en la longitud del grano, siendo la variedad Uy1 la más larga y la Uy3 la más corta.

Tabla 1. Dimensiones promedio de arroz cargo de las variedades Uy1, Uy2 y Uy3.
L/A: relación (Largo/Ancho) promedio de cada variedad.

Variedad	Largo (mm)	Ancho (mm)	L/A	Espesor (mm)
Uy1	7,6	2,1	3,6	1,9
Uy2	7,4	2,2	3,4	1,9
Uy3	6,7	2,0	3,4	1,7

La Tabla 2 muestra las HC, la humedad inicial de cada triplicado (HI) y las HG de los triplicados a medida que se fueron secando en cámara. Todas las humedades se expresan en base húmeda.

Tabla 2. Humedades de cosecha (HC) promedio del lote, humedad inicial de cada triplicado (HI) y humedades de grano (HG) a diferentes tiempos de secado en cámara (subíndices de HG de 1 a 10 indican tiempos de secado diferentes).

Secado en cámara													
Variedad	HC (%)	HI (%)	HG ₁ (%)	HG ₂ (%)	HG ₃ (%)	HG ₄ (%)	HG ₅ (%)	HG ₆ (%)	HG ₇ (%)	HG ₈ (%)	HG ₉ (%)	HG ₁₀ (%)	
Uy1		21,8		20,0		18,0	17,1	15,4	13,7	12,8	12,0	10,3	
		21,7	21,6	21,0	20,5	19,9	18,5	17,5	14,6	12,8	11,8	11,2	10,5
		21,6	20,7	20,2	19,5	18,2	17,5	14,8	13,0	12,2	11,6	10,4	
		18,0	16,7	16,0	14,2	13,5	12,3	10,4					
		18,0	18,0	16,7	15,9	13,9	12,9	12,0	10,4				
		18,0	16,7	15,7	14,7	13,6	12,8	10,1					
Uy2		22,1	21,2	20,0	18,6	17,3	14,3	12,7	11,4	10,3			
		21,9	21,8	20,5	19,5	18,6	17,1	14,0	12,3	11,6	10,3		
		21,8	21,3	20,8	18,7	17,0	13,8	12,1	11,2	10,3			
Uy3		21,1	20,4	20,0	18,9	17,7	15,0	12,8	11,9	11,2	10,2		
		21,2	21,2	20,4	19,5	18,2	17,6	13,9	12,7	11,9	10,9	10,2	
		21,3	20,2	19,1		17,3	15,2	12,3	11,6	10,8	10,1		
		18,6	17,1	15,9		13,6	13,1	11,6	11,1	10,16			
		18,6	18,6	16,9	15,9	14,6	13,3	12,4	12,0	11,3	11,01		
		18,6	16,9	16,2	14,1	13,5	12,7	12,0	11,5	10,92			

Para todas las variedades, los lotes cosechados con mayor humedad presentaron una HC de $21,6 \pm 0,5\%$. Los lotes de las variedades Uy1 y Uy3 cosechados más secos, presentaron una HC en el rango de $18,3 \pm 0,3\%$.

La Figura 1 muestra las curvas de T_g de las tres variedades estudiadas, construidas a partir de las muestras con una HC de $21,6 \pm 0,5\%$. Para la variedad Uy1, la T_g varió entre $45,2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $49,1 \text{ }^\circ\text{C}$ en el rango de HG estudiado (10 - 22%). En el mismo rango, la variación para la variedad Uy2 fue entre $46,3 \text{ }^\circ\text{C}$ y $49,1 \text{ }^\circ\text{C}$ y para la variedad Uy3 entre $46,7 \text{ }^\circ\text{C}$ y $51,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Se observa que la T_g aumenta a medida que disminuye la HG para las tres variedades. Estos resultados son esperados ya que el agua posee un efecto plastificante en las partes amorfas del almidón (Sablani, et al., 2009). Resultados similares se encontraron en publicaciones anteriores donde se estudiaron muestras de almidón (Zeleznaek, et al., 1987; Liu, et al., 2010) y muestras de arroz de otras variedades (Sun, et al., 2002; Siebenmorgen, et al., 2004).

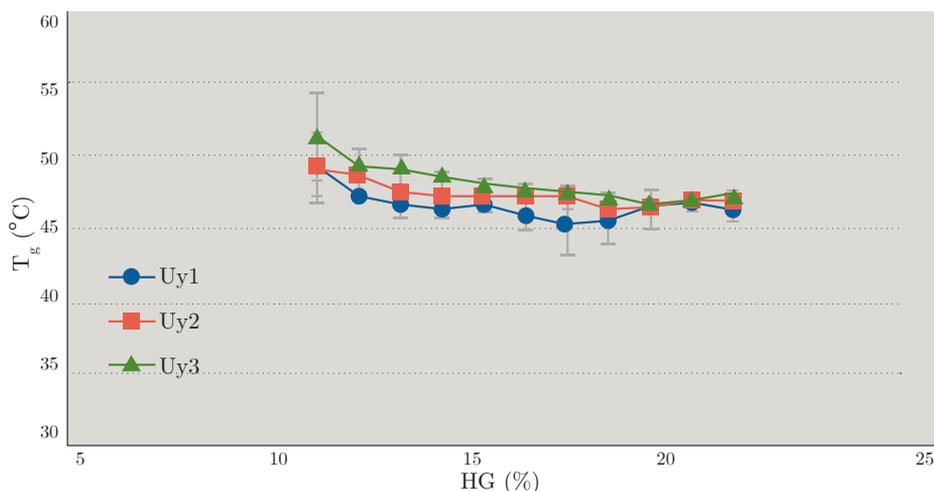


Figura 1. Curvas de temperatura de transición vítrea (T_g) en función de la humedad de grano (HG) de las variedades Uy1, Uy2 y Uy3 cosechadas a una humedad de $21,6 \pm 0,5\%$.

Aplicando ANOVA, se observa que existen diferencias significativas entre las T_g de las tres variedades cosechadas a una HC de $21,6 \pm 0,5\%$, en el rango de HG de 12% a 16%. En la Tabla 3 se muestran estos resultados (se muestra solo el rango de HG en el que hubo diferencias significativas) y los resultados del test de Tukey. Se observa que en el rango de HG de 12% a 16%, la T_g de la variedad Uy1 siempre fue significativamente menor que la T_g de la variedad Uy3 (para una misma HG), mientras que para la variedad Uy2 en general no hubo diferencias significativas con ninguna de las otras dos variedades (excepto para las HG de 12% y 14%).

Teniendo en cuenta las dimensiones de los granos de cada variedad (Tabla 1), podemos concluir que las variedades con mayor diferencia entre sus T_g (Uy1 y Uy3) son las que presentan mayor diferencia en el largo de grano.

Tabla 3. Comparación de las temperaturas de transición vítrea (T_g) de las variedades Uy1, Uy2 y Uy3 a diferentes humedades de grano (HG), para una humedad de cosecha de $21,6 \pm 0,5\%$.
 $T_{g,1}$, $T_{g,2}$ y $T_{g,3}$ son triplicados de una misma condición.
 1: $p < 0,05$ indica diferencia significativa; 2: letras iguales indican que no existe diferencia significativa.

HG (%)	Variedad	$T_{g,1}$ (°C)	$T_{g,2}$ (°C)	$T_{g,3}$ (°C)	ANOVA ¹	Tukey Test ²
16	Uy1	44,62	46,56	46,50		A
	Uy2	46,67	47,13	47,83	$p=0,04243$	A,B
	Uy3	47,68	48,17	47,76		B
15	Uy1	46,01	46,53	46,75		A
	Uy2	46,77	47,35	47,53	$p=0,00466$	A,B
	Uy3	47,95	48,46	47,84		B
14	Uy1	45,61	46,67	46,36		A
	Uy2	46,89	47,57	47,24	$p=0,00213$	A
	Uy3	48,89	48,74	48,05		B
13	Uy1	46,47	47,53	45,86		A
	Uy2	47,03	48,19	47,46	$p=0,01697$	A,B
	Uy3	49,83	49,40	48,26		B
12	Uy1	46,98	47,20	47,47		A
	Uy2	48,94	48,92	48,34	$p=0,00936$	B
	Uy3	48,69	50,56	49,28		B

Otros autores no encontraron diferencias significativas en las T_g cuando compararon una variedad de arroz de grano largo (Cypress) con una variedad de grano medio (Bengal) (Siebenmorgen, et al., 2004; Perdon, et al., 2000). Sun y otros. (2002) tampoco encontraron diferencias al comparar arroz de la variedad Drew (grano largo) con arroz de la variedad Bengal (grano medio) y Cypress (grano largo). Estas discrepancias con nuestros resultados se podrían deber a diferencias en la composición del almidón de cada variedad. Hay una relación directa entre la T_g y el peso molecular del almidón (Perdon, et al., 2000). Por otra parte, Liu y otros. (2010) encontraron que, a mayor contenido de amilosa en el almidón, mayor es la T_g . Considerando que las variedades Uy1 y Uy3 son las que tuvieron mayores diferencias en sus T_g , se eligieron estas para evaluar si existe un efecto de la HC en la T_g . La Figura 2 muestra las curvas de T_g de las variedades Uy1 y Uy3 construidas a partir de muestras con HC de $21,6 \pm 0,5\%$ y $18,3 \pm 0,3\%$.

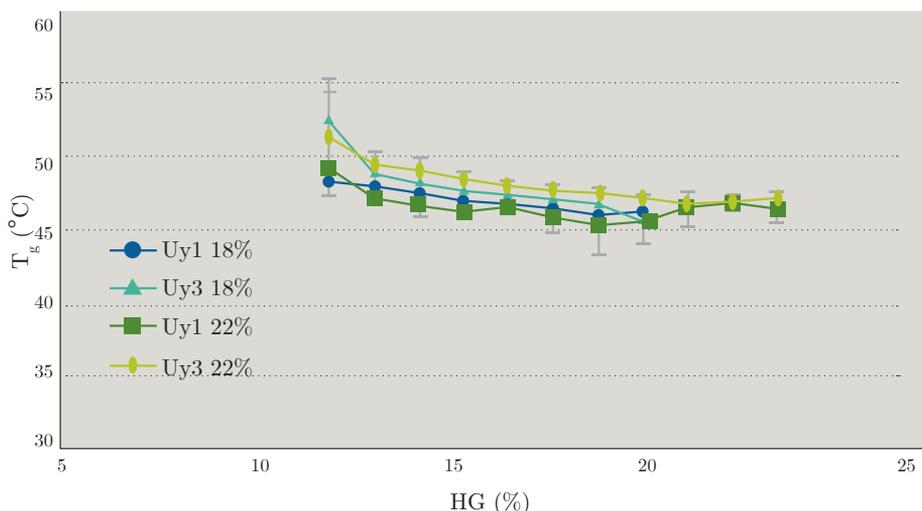


Figura 2. Curvas de transición vítrea (T_g) de las variedades Uy1 y Uy3 cosechadas a humedades de $21,6 \pm 0,5\%$ y $18,3 \pm 0,5\%$.

Aplicando ANOVA para comparar las T_g de la variedad Uy1 con una HC de 21,6% respecto a las T_g de la misma variedad a una HC de 18,3%, se observa que no existen diferencias significativas para ninguna de las HG analizadas (rango 11 – 18%). Para la variedad Uy3 tampoco se observa una diferencia significativa de la T_g entre las dos HC analizadas, para todo el rango de HG (datos no mostrados). Por lo tanto, se concluye que la HC no afecta la T_g para las variedades y el rango de HG estudiados.

Conocer la T_g de las diferentes variedades uruguayas de arroz tiene una aplicación importante en la industria arrocera. Para que el almacenamiento del arroz sea seguro, el mismo se seca hasta una HG de 13% o inferior. Durante un típico proceso de secado, la temperatura del aire puede alcanzar los 60°C, por lo que los granos pueden encontrarse dentro o por encima del rango de T_g . Por otra parte, la humedad de las capas más superficiales del grano puede ser más baja que la humedad del centro, haciendo que la T_g de la superficie sea más alta (Cnossen y Siebenmorgen, 2000). Por lo tanto, los granos pueden encontrarse en estado vítreo, cauchoso o tener zonas en estado vítreo y zonas en estado cauchoso dentro de un mismo grano (Perdon, et al., 2000). Esto puede generar tensiones ocasionadas por el cambio en propiedades físicas al pasar de un estado a otro, llevando a la fisura del grano y por lo tanto a la disminución del rendimiento del proceso (Cnossen y Siebenmorgen, 2000). En base a esto, se podría pensar que resulta más conveniente secar a temperaturas por debajo de T_g . Sin embargo, la difusividad es mucho mayor en el estado cauchoso, por lo que el secado a temperaturas superiores a la T_g resulta más rápido y eficiente (Cnossen, et al., 2002). En la práctica, ciclos de secado y *tempering* alternados son utilizados para secar a una temperatura superior a la T_g , evitando la formación de fisuras y aumentando así el rendimiento del proceso (Schluterman y Siebenmorgen, 2007).

Por lo tanto, conocer las curvas de T_g de variedades uruguayas de arroz permite ajustar el proceso de secado para cada variedad, optimizando al mismo tiempo la velocidad de secado y el rendimiento del arroz obtenido.

CONCLUSIONES

Se construyeron las curvas de transición vítrea de tres variedades uruguayas de arroz. Las mismas mostraron diferencias significativas entre las variedades en un rango de HG de 12% a 16%. La HC no afectó la T_g en todo el rango estudiado.

Los resultados obtenidos pueden aplicarse para diseñar un proceso de secado que optimice la velocidad del mismo, al tiempo que minimice la formación de fisuras, aumentando así el rendimiento del arroz obtenido.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) por la financiación.

REFERENCIAS

- Cnossen, A.G. y Siebenmorgen, T.J., 2000. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect of milling quality. En: *Transactions of the ASABE*, 43(6), pp.1661-1667.
- Cnossen, A.G., Siebenmorgen, T.J. y Yang, W., 2002. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect on drying rate. En: *Transactions of the ASABE*, 45(3), pp.759-766.
- Cnossen, A.G., Siebenmorgen, T.J., Yang, W. y Bautista, R.C., 2001. An application of glass transition temperature to explain rice kernel fissure occurrence during the drying process. En: *Drying Technology*, 19(8), pp.1661-1682.
- Jindal, V.K. y Siebenmorgen, T.J., 1987. Effects of oven drying temperature and drying time on rough rice moisture content determination. En: *Transactions of the ASABE*, 30(4), pp.1185-1192.
- Kunze, O.R., Lan, Y. y Wratten, F.T., 2004. Physical and mechanical properties of rice. En: Champagne, E.T., ed. *Rice chemistry and technology*. Minnesota: AACC. pp.191-221.
- Liu, P., Yu, L., Wang, X., Li, D., Chen, L. y Li, X., 2010. Glass transition temperature of starches with different amylose/amylopectin ratios. En: *Journal of Cereal Science*, 51, pp.388-391.
- Perdon, A., Siebenmorgen, T.J. y Mauromoustakos, A., 2000. Glassy state transition and rice drying: Development of a brown rice state diagram. En: *Cereal Chemistry*, 77(6), pp.708-713.
- Sablani, S.S., Bruno, L., Kasapis, S. y Symaladevi, R.M., 2009. Thermal transitions of rice: development of a state diagram. En: *Journal of Food Engineering*, 90, pp.110-118.
- Schluterman, D.A. y Siebenmorgen, T.J., 2007. Relating rough rice moisture content reduction and tempering duration to head rice yield reduction. En: *Transactions of the ASABE*, 50(1), pp.137-142.

Siebenmorgen, T.J., Yang, W. y Sun, Z., 2004. Glass transition temperature of rice kernels determined by dynamic mechanical thermal analysis. En: *Transactions of the ASABE*, 47(3), pp.835-839.

Sun, Z., Yang, W., Siebenmorgen, T., Stelwagen, A. y Cnossen, A., 2002. Thermomechanical transitions of rice kernels. En: *Cereal Chemistry*, 79(3), pp.349-353.

Zeleznaek, K.J. y Hoseney, R.C., 1987. The glass transition in starch. En: *Cereal Chemistry*, 64(2), pp.121-124.