



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
Facultad de Ciencias Agrarias
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Transición Vítrea de Hojas de Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) Secadas por Diferentes Métodos

Memoria presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero en Alimentos

Francisco Javier Concha Alarcón

Valdivia – Chile

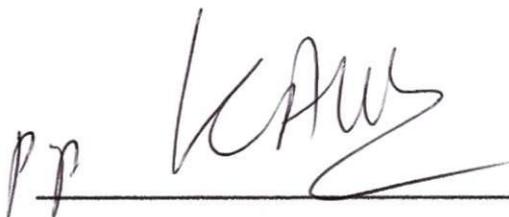
2014

PROFESOR PATROCINANTE:



Kong Shun Ah-Hen
Ingeniero en Alimentos, Dipl.-Ing., Dr.- Ing.
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Universidad Austral de Chile

PROFESOR CO-PATROCINANTE:



Roberto Lemus Mondaca
Ingeniero en Alimentos, Mg. Ing., Dr.-Ing.
Departamento de Ingeniería en Alimentos
Universidad de La Serena

PROFESOR INFORMANTE:



Bernardo Carrillo López
Ingeniero Agrónomo Ms, en Cs e Ing en Alimentos
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Universidad Austral de Chile

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	MATERIAL Y MÉTODO	12
2.1	Materia prima	12
2.2	Metodología	12
2.2.1	Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	12
2.2.2	Determinación de humedad mediante método gravimétrico por deseccación en estufa	13
3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	14
3.1	Propiedades térmicas	14
3.1.1	Temperatura de transición vítrea	14
3.2	Contenido de humedad obtenido mediante método gravimétrico	15
4	CONCLUSIONES	21
5	BIBLIOGRAFÍA	22
	ANEXOS	27

INDICE DE CUADROS

Cuadro		página
1	Tipos de secados realizados a hojas de <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	12
2	Temperaturas de transición vítrea obtenidas experimentalmente por DSC	14
3	Humedad de hojas de <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni secadas por distintos procesos	15
4	Valores de Tg obtenidos experimentalmente y los calculados por el modelo de Gordon-Taylor en relación a la fracción de agua	16
5	Valores de temperatura transición vítrea de sólidos y constante k de Gordon-Taylor obtenidos por linealización	16
6	Correlación entre temperatura de transición vítrea experimental y la calculada por el modelo de Gordon-Taylor	19

INDICE DE FIGURAS

Figura		página
1	Esquema del equipo de monitoreo del calorímetro diferencial de barrido	9
2	Temperaturas de transición vítrea obtenidas experimentalmente en relación a la fracción de agua de hojas de stevia secadas por diferentes métodos y con distinto contenido de humedad	15
3	Temperaturas de transición vítrea obtenidas mediante el modelo de Gordon-Taylor en relación a la fracción de agua de hojas de stevia secadas por diferentes métodos y con distinto contenido de humedad	18
4	Termogramas de distintos puntos de fusión en hojas de stevia	20

INDICE DE ANEXOS

Anexo		página
1	Termogramas de obtención del punto medio (midpoint) de acuerdo al estándar ASTM-IEC para hojas de stevia secadas por diferentes tratamientos	27

RESUMEN

La presente memoria tiene como propósito encontrar la relación o influencia del tipo de tratamiento de secado realizado a hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni, sobre la transición vítrea de éstas. Para ello se tienen hojas de stevia secada por siete tipos de tratamientos diferentes, a las cuales se les determinó la temperatura de transición vítrea (T_g) mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), y la humedad de equilibrio por método gravimétrico con desecación en estufa. Los resultados obtenidos concuerdan con la base teórica revisada, la cual hace relación a que con el aumento del contenido de humedad, menor es la temperatura de transición vítrea. Además se comprobó que el modelo de predicción de T_g de Gordon-Taylor es altamente aceptable para predecir T_g en hojas de stevia, ya que se obtuvo un r^2 de 0,987 respecto a los análisis experimentales. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, se pueden saber las condiciones de almacenamiento ideales a las cuales deben estar sometidas las hojas de stevia, con el fin de aumentar la vida útil de éstas. Se comprobó también que el método de secado no incidió sobre la T_g , sino define el contenido final de agua retenida en las hojas al terminar el proceso de secado.

Palabras claves: *Stevia rebaudiana* Bertoni, transición vítrea, Gordon-Taylor, DSC

SUMMARY

The aim of the present study was to find out how the type of drying process influenced the transition temperature of the leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Therefore leaves of *Stevia* were dried using seven different procedures and the transition temperature of the dried product was determined by differential scanning calorimetry, together with the corresponding equilibrium moisture content that was determined using a gravimetric method after drying in an oven. The results obtained are in accordance with the consulted theoretical data base, which relates increase in moisture content to a decrease in transition temperature. Moreover, it was shown that the Gordon-Taylor model used to predict Tg fitted well experimental data with a coefficient of determination r^2 of 0.987 for the Tg of stevia leaves as a function of moisture content. The results of the study can therefore be used to define ideal storage conditions that will prolong shelf-life of the *Stevia* leaves. It was also found that the drying process did not have any significant effect on Tg, it only defines the final moisture content retained in stevia leaves after drying process.

Key words: *Stevia rebaudiana* Bertoni, glass transition, Gordon-Taylor, DSC.

1 INTRODUCCIÓN

La *Stevia rebaudiana* Bertoni, conocida popularmente como "hierba dulce", es una planta oriunda del nordeste paraguayo, miembro de la familia de las asteráceas. Su cultivo se ha extendido hasta el sur de Brasil, y en Argentina principalmente en la provincia de Misiones y Chaco. Actualmente se cultiva en forma intensiva en Japón y China. Es un arbusto perenne que puede alcanzar 65 a 80 cm, pero que cultivadas pueden llegar hasta 1,0 m de altura, sus hojas lanceoladas tienen aproximadamente 5 cm de longitud y 2 cm de ancho y se disponen alternadas, enfrentadas de dos en dos. Puede utilizarse para la producción comercial por un periodo de cinco o más años, dando varias cosechas anuales a partir de la parte aérea de la planta, crece en suelos arenosos cerca de arroyos de la parte selvática subtropical del alto Paraná (DURAN *et al.*, 2012).

Cabe señalar que *S. rebaudiana* cuenta con más de 144 variedades a nivel mundial, destacando a Morita 2; además esta especie presenta numerosos eco tipos; también la variedad Ariete es actualmente muy cultivada debido al mayor dulzor (LANDÁZURI y TIGRERO, 2009). En el país es posible encontrar stevia proveniente principalmente desde Asia y Latinoamérica como extracto, líquido, en polvo, tabletas y como hoja seca. También es posible encontrar cultivos de esta planta en fase experimental, principalmente en la quinta región y una empresa productora de cristales y concentrado de stevia (HEITMANN y COFRÉ, 2011).

El gusto dulce de la stevia proviene de un compuesto llamado steviosido, el cual se comprobó era 300 veces más dulce que el azúcar de mesa. Se descubrió más tarde que el steviosido es uno de varios componentes dulces de stevia, conocidos como glucósidos. De estos, el rebaudiosido A es el más dulce y tiene los atributos sensoriales más favorables. Además se han estudiado dos glucósidos más que son el rebaudiosido C y el dulcosido. Con relación a su consumo en la medida que la stevia se refina más, la dulzura se intensifica y varía dependiendo de la calidad de las plantas utilizadas (HALE, 2001). La FDA, OMS y la FAO han aprobado la stevia como "Aditivo Alimentario" para uso en personas de todas las edades, y han determinado un máximo de ingesta diaria admisible (IDA) de 4 mg/kg de peso corporal por día, expresado en steviol, aunque concluyeron que dicha cifra es altamente conservadora y un humano nunca llegaría a consumir más de lo permisible en un día (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS), 2008).

Además de los efectos como un potente endulzante, también se sabe que los steviosidos reducen el exceso de glucosa en la sangre y tiende a potenciar la secreción de insulina en pacientes con diabetes tipo 2, pudiendo ser considerada como una droga potencial o aditivo para el mejoramiento de la regulación de la diabetes (CURI *et al.*, 1986).

También hay estudios que las propiedades de la *Stevia rebaudiana* Bertoni pueden ayudar a prevenir caries y enfermedades a las encías (DAS *et al.*, 1992).

Por ser un producto natural puede ser una fuente potencial con efectos antioxidantes, que en general, proveerá el dulzor al paladar eliminando los efectos nocivos de los endulzantes artificiales y con beneficios adicionales a favor de la salud.

Las hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni pueden ser procesadas de diversas maneras, entre las que se encuentra el secado. Previo a esto es necesario tener conocimientos sobre isotermas de sorción. El término sorción se usa para denotar la interacción agua-sustancia adsorbente (LABUZA *et al.*, 1985). La relación entre el contenido total de humedad y la correspondiente actividad de agua en un intervalo de valores de ésta a una temperatura, se denomina isoterma de adsorción de humedad. Las isotermas de adsorción se utilizan en cuatro grandes áreas del procesado de alimentos: secado, mezcla, envasado y almacenamiento (JOWITT *et al.*, 1981). Según DJENDOUBI *et al.*(2012), el conocimiento de las curvas de absorción y desorción son importante para aspectos relacionados con la predicción de la estabilidad microbiológica, enzimática y química, selección de materiales de embalaje, el diseño de los procesos de concentración y secado, así como la elección de las condiciones de almacenamiento adecuadas.

A lo largo de la historia, la conservación de alimentos ha sido de gran importancia para la subsistencia humana, las diversas épocas de escases que se han cursado, crea la necesidad de buscar un método que permita alargar la vida útil de los alimentos perecederos, es así como se llegó al secado. Este método tiene como principal función la preservación de alimentos, por medio de la disminución del contenido de humedad que estos contengan. También tiene una importancia tecnológica e industrial, ya que algunos productos necesitan ser secados antes de ser procesados. El secado puede disminuir los costes de transporte, en donde debe hacerse un balance económico entre el costo de secar y el del transporte.

Para que el secado se lleve a cabo la humedad debe ganar calor de sus alrededores y evaporarse, para ser acarreado por un gas transportador. La concentración de vapor sobre la superficie de secado es influenciada por la velocidad de secado y la manipulación correcta sobre estas condiciones es crucial para el éxito del proceso.

Diversos son los métodos existentes para llevar a cabo el secado de alimentos, entre los que se pueden encontrar los siguientes:

Secado convectivo: este método es uno de los métodos industriales más comúnmente utilizados para el secado de alimentos. Es un proceso que implica transferencia simultánea de calor y de masa acompañado por un cambio de fase o estado (TOGRUL y PEHLIVAN, 2003; SIMAL *et al.*, 2005; VEGA *et al.*, 2010). Varios factores influyen en el proceso de secado de aire caliente, por ejemplo, la velocidad y la temperatura del flujo de aire, velocidad de difusión de agua a través del alimento, densidad de carga, y el espesor y la forma del alimento. Sin embargo, la rápida eliminación de agua puede reducir el valor nutritivo y el sabor de los alimentos (JARAYAMAN y DAS, 1995). Las altas temperaturas relacionadas con secado por aire caliente pueden destruir las membranas semipermeables de las células que forman los tejidos esenciales para mantener las frutas y hortalizas.

Según VEGA *et al.*, (2009), el estudio de la cinética de secado de frutas o verduras es esencial para diseñar procesos de secado, y por lo tanto, para obtener productos deshidratados de alta calidad.

El secado al sol: el secado al sol directo requiere una gran área de espacio abierto, y es muy dependiente de la disponibilidad de luz solar, susceptibles a la contaminación con materiales extraños tales como polvos, y están expuestos a las aves, los insectos y los roedores (FUDHOLI *et al.*, 2011). Sin embargo, el secado al sol es muy económico, ya que sólo necesita la difusión de los productos sobre una superficie adecuada y se deja secar al sol (PUROHIT *et al.*, 2006). Tradicionalmente algunos cultivos agrícolas se secan al sol, tales como pimientos, albaricoques, manzanas, uvas (pasas), ciruelas, café, tabaco, té, etc. (VIJAYAVENKATARAMAN *et al.*, 2012).

Secado solar: el potencial del uso de la energía solar en el sector agrícola se ha incrementado debido a la fluctuación de los precios de los combustibles fósiles, las preocupaciones ambientales y esperado agotamiento de los combustibles fósiles convencionales. Sistema solar de secado asistida es una de las aplicaciones más

atractivas y prometedoras de sistemas de energía solar en los países tropicales y subtropicales (FUDHOLI *et al.*, 2011). Los secadores solares tienen algunas ventajas sobre el secado al sol correctamente diseñado (PUROHIT *et al.*, 2006). Ellos dan velocidades de secado más rápidas, calentando el aire a 10-30 °C por encima del ambiente, lo que hace que el aire se mueva más rápido a través del secador, reduce su humedad y disuade a los insectos. Un secado más rápido reduce el riesgo de deterioro, mejora la calidad del producto y da un mayor rendimiento, reduciendo así el área de secado que se necesita (VIJAYAVENKATARAMAN *et al.*, 2012). Los secadores solares también protegen a los alimentos de polvo, insectos, aves y animales. Pueden ser contruidos con materiales locales a un costo relativamente bajo de capital y no hay costes de combustible. Por lo tanto, pueden ser útiles en áreas donde el combustible o la electricidad son caros, la tierra para el secado al sol es escasa o cara, el sol es abundante, pero la humedad del aire es alta. Además, pueden ser útiles como un medio de calentamiento de aire para las secadoras artificiales para ayudar a reducir el consumo de combustible (ARE *et al.*, 1997).

Secado al vacío: el secado al vacío mejora la transferencia de masa debido a un gradiente de presión de vapor aumentado entre el interior y exterior de la muestra para secar y mantener un nivel bajo de temperatura esencial en productos termolábiles (PERE y RODIER, 2002). Esta tecnología fue desarrollada para contrarrestar los efectos indeseables de otros métodos de secado más graves y para mejorar la calidad, así como el valor nutricional. Por lo tanto, permite la eliminación eficaz de la humedad a baja presión (JAYA y DAS, 2003). En consecuencia, el secado al vacío proporciona una mayor velocidad de secado en comparación con los métodos convencionales, menor temperatura de secado y ofrece un ambiente de procesamiento deficiente en oxígeno (WU *et al.*, 2007). El análisis de la cinética de secado ayudará en el diseño de secador adecuado con un control correcto de los parámetros de funcionamiento, así como en la optimización del proceso de secado al vacío con los datos básicos disponibles en la cinética de secado. El secado al vacío se ha realizado con éxito en otros alimentos como la pulpa de mango (JAYA y DAS, 2003), torta de prensado de coco (JENA y DAS, 2007), zanahoria y calabaza (ARÉVALO y MURR, 2006) y berenjenas (WU *et al.*, 2007).

Secado por liofilización: la liofilización es una buena alternativa para el secado de alimentos y otros materiales sensibles, ya que no presenta los inconvenientes

mencionados anteriormente para otros métodos de secado (RATTI, 2001). Este proceso comienza con una etapa de congelación, seguida de la primera etapa de secado, en la que se elimina principalmente el agua congelada por sublimación. Una segunda etapa de secado que sigue, en la que se elimina el agua unida (no congelado) por desorción (LIAPIS y BRUTTINI, 1995). El proceso de liofilización es lento e implica altos costes de inversión y de funcionamiento debido a la necesidad de producir y mantener un alto vacío, porque la eliminación de la humedad a bajas temperaturas requiere el uso de vacío para aumentar la transferencia de masa y el gradiente hidráulico entre el frente a la sublimación y el medio de secado (CLAUSSEN *et al.*, 2007). El método de liofilización proporciona productos secos, de estructura porosa con propiedades ventajosas de calidad, las cuales se ponderan en contra de su alto costo de tratamiento. Para reducir los costos, una alternativa es utilizar la liofilización atmosférica, debido a que el uso de costosos equipos de generación de vacío podrían ser eliminado, con sólo un pequeño aumento en el tiempo de secado (ALVES *et al.*, 2007).

Secado por microondas: el secado por microondas en frutas y vegetales ha sido reportado para mejorar la calidad del producto (por ejemplo, mejor aroma, más rápido y mejor rehidratación) ahorro de energía y tiempos de secado más cortos (SOYSAL *et al.*, 2009). Durante las últimas dos décadas, ha habido un interés creciente en el secado por microondas para reducir el tiempo de secado y aumentar la eliminación de agua de los productos agrícolas. El secado por microondas tiene varias ventajas tales como una mayor velocidad de secado, tiempo de secado más corto, disminuir el consumo de energía y mejor calidad de los productos secos (SANGA *et al.*, 2000). La mejora de los procesos de secado, reduciendo el consumo de energía con la obtención de productos de alta calidad con un mínimo aumento en los gastos, se ha convertido en el objetivo del secado moderno (RAGHAVAN *et al.*, 2005). Cualquier técnica que utiliza únicamente esta tecnología no puede por sí mismo alcanzar este objetivo. Una combinación de técnicas de secado debe ser considerado. Basado en el tiempo de secado rápido del calentamiento por microondas, el secado combinado microondas-convección de la fruta ha demostrado éxito en la obtención de alta calidad de producto seco con bajo consumo de energía específica (TULASIDAS *et al.*, 1997; RAGHAVAN y SILVEIRA, 2001).

Secado por radiación infrarrojo: la principal característica es la posibilidad de controlar la intensidad de la energía aplicada, de esta manera no hay dependencia de las condiciones climáticas y geográficas, debido al control total de energía de la fuente

radiante. Otra ventaja de este proceso es que, dado que el proceso de secado se lleva a cabo en ambiente protegido, la posibilidad de contaminación es mínima en comparación con el secado solar. Por otra parte, los costos de implementación de fuentes infrarrojas son bajos en comparación con el secado convencional (RATTI y MUJUMDAR, 1995). Entre las ventajas más importantes de secado por infrarrojos están: versatilidad, equipo requerido simple, rápida respuesta a calentamiento y secado, de fácil instalación de la cámara de secado y baja inversión (CHUA *et al.*, 2004). La aplicación de la radiación infrarroja para la elaboración de alimentos ha cobrado importancia debido a sus ventajas inherentes sobre la calefacción de aire caliente. El procesamiento con irradiación infrarrojos se ha aplicado para hornear, asar, tratamientos térmicos (escaldado, pasteurización, esterilización, etc.) y en el secado de productos alimenticios (NOWAK y LEWICKI, 2004; DAS *et al.*, 2009; JATURONGLUMLERT y KIATSIRIROAT, 2010). Estudios realizados por SAKAI y HANZAWA (1994), informaron resultados sobre el rendimiento en hornos que utilizan sistemas basados en infrarrojos, y de hornos convencionales para hornear galletas de arroz y para asar pastas de pescado. El estudio comparativo indica un ahorro energético de 45-70 %, utilizando calefacción por infrarrojos.

Los estudios sobre el desarrollo de color durante el asado por infrarrojos de avellanas fueron reportados por OZDEMIR y DEVRES (2000). La aplicación de radiación infrarroja combinado con secado por aire caliente se considera que es más eficiente que la radiación infrarroja o secado con aire caliente por si solas, ya que da el efecto sinérgico de ambas tecnologías.

Calorímetro diferencial de barrido. la medición de la temperatura de transición vítrea se hará mediante la calorimetría diferencial de barrido (DSC, por su sigla en inglés) es la técnica más común para determinar transiciones de fase en compuestos inorgánicos, polímeros y alimentos. En la técnica experimental de calorimetría diferencial de barrido se dispone de dos contenedores metálicos llamados crisoles, los cuales tienen que estar cerrados herméticamente, lo que impide que se produzcan cambios de humedad. Una de ellos contiene la muestra a analizar y el otro está vacío, el cual es una referencia. Se usan calefactores individuales para cada crisol y un sistema de control comprueba si se producen diferencias de temperatura entre la muestra y la referencia. Si se detecta cualquier diferencia, los calefactores individuales se corregirán de tal manera que la temperatura se mantendrá igual en ambas cápsulas. Es decir, cuando tiene lugar un proceso exotérmico o endotérmico, el instrumento compensa la energía necesaria para

mantener la misma temperatura en ambos crisoles. La transmisión de calor es instantánea, por eso se trabaja con muestras muy pequeñas. Es muy importante que el contenido de agua de las muestras permanezca constante durante la determinación de una transición, puesto que la cantidad de agua tiene una gran influencia sobre la temperatura a la cual se produce dicho efecto térmico (NAVARRETE, 1998).

Funcionamiento del calorímetro diferencial de barrido. el DSC es un equipo que cuenta con dos calentadores individuales y un controlador, en el cual se puede regular el flujo de calor y monitorear la temperatura. Para llevar a cabo el experimento se necesita poner las cápsulas o crisoles en estos calentadores, en una cápsula o crisol se coloca la muestra mientras que la otra se la deja vacía para utilizarla como referencia (muestra inerte que no sufre cambios de fase). Al calentarse ambas cápsulas, el programa de computadora se asegura realizar el ensayo a la misma velocidad de calentamiento. Ya que una cápsula permanece vacía mientras que la otra contiene una muestra de polímero, se puede observar que tanta energía extra se necesita para calentar la cápsula que sujeta dicha muestra con respecto a la referencia, esta cantidad de energía es medida mediante DSC y se ve reflejada a través de un gráfico de flujo de calor vs temperatura conocido como termograma, donde el área bajo la curva representa la entalpía (COELLO y GARCÉS, 2012).

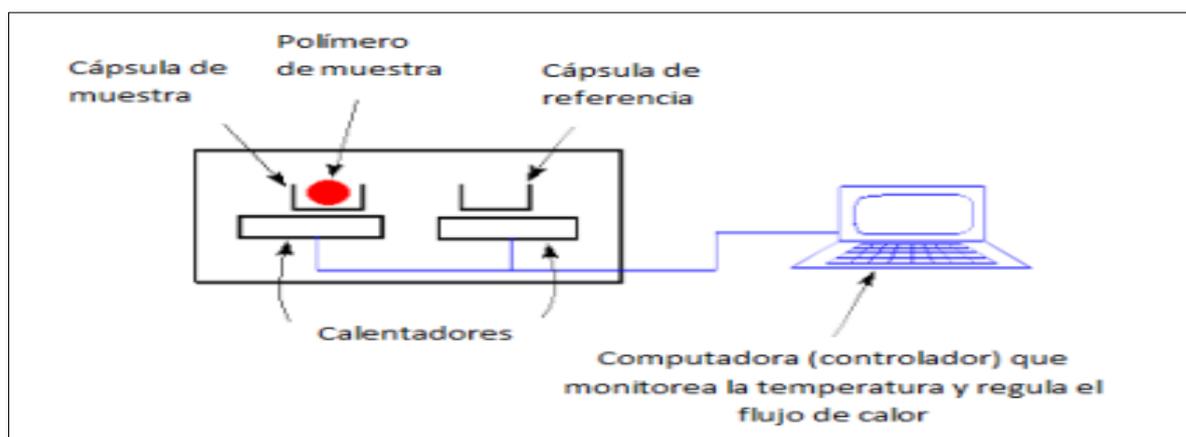


FIGURA 1. Esquema del equipo de monitoreo del calorímetro diferencial de barrido.

Como regla general, puede decirse que todas las transformaciones o reacciones donde se produce un cambio de energía, pueden medirse por DSC. Entre las diversas utilidades de la técnica de DSC se destacan las siguientes:

- Medidas de capacidad calorífica aparente (fenómenos de relajación estructural).

- Determinación de temperaturas características de transformación o de transición tales como: transición vítrea, transición ferro-paramagnética, cristalización, transformaciones polimórficas, fusión, ebullición, sublimación, descomposición, isomerización, etc.
- Estabilidad térmica de los materiales.
- Cinética de cristalización de los materiales” (SURIÑACH *et al.*, 1992).

Transición vítrea y capacidad calorífica aparente. Otra de las transiciones que experimentan la mayor parte de los materiales vítreos y que puede ser fácilmente observada por DSC es la transición vítrea, es decir el paso del material desde un estado cristalino a uno gomoso, o viceversa. Esto es debido al hecho que al calentar o enfriar un material su capacidad calorífica, C_p , aumenta o disminuye, en un valor del orden de la mitad de su valor original en el corto intervalo de temperaturas en que tiene lugar la transición vítrea. La técnica de DSC permite realizar medidas absolutas de capacidad calorífica, a partir de las cuales se pueden evaluar las variaciones de entalpía o de entropía en la transición (SURIÑACH *et al.*, 1992).

Los alimentos son muy estables en estado vítreo, pues debajo de la T_g los compuestos que intervienen en el deterioro requieren de tiempos del orden de meses o años para difundirse en distancias moleculares y así poder reaccionar. Hay una intensa actividad investigativa mediante selección de ingredientes; las maltodextrinas han sido utilizadas para incrementar la viscosidad, retardar la cristalización, mejorar las características durante el secado y para la encapsulación (GOFF, 1997).

Simulación y estimación de transición vítrea por el modelo de Gordon-Taylor. La ecuación de Gordon-Taylor entrega una predicción de la temperatura de transición vítrea haciendo una relación entre el contenido de humedad y la T_g (Ec. 1).

$$T_g = \frac{T_{gs}(1-w) + w*k*T_{gw}}{(1-w)+w*k} \quad (\text{Ec.1})$$

En donde w corresponde a la fracción de agua (g agua/100g muestra), T_{gs} y T_{gw} corresponden a las temperaturas e transición vítrea de los sólidos amorfos y el agua

respectivamente, k considerada como la razón entre las capacidades caloríficas antes y después de T_g (VEGA *et al.*, 2014).

Hipótesis

Se plantea como hipótesis que los métodos de secado no influyen sobre la temperatura de transición vítrea de las hojas secas, la cual depende más bien del contenido de humedad.

Objetivo general

Rastrear en un amplio rango de temperaturas la transición vítrea de distintas hojas secadas de stevia

Objetivos específicos

- Determinar la temperatura de transición vítrea de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni secadas por 7 tratamientos diferentes.
- Determinar la humedad de equilibrio de *Stevia rebaudiana* Bertoni secadas por 7 tratamientos diferentes.
- Realizar un análisis estadístico para comparar si existe diferencia significativa en la T_g de las diferentes muestras de hojas de Stevia secas.
- Comparar por medio de análisis estadístico el modelo de predicción de T_g de Gordon-Taylor con el T_g obtenido experimentalmente.

2 MATERIAL Y MÉTODO

El desarrollo de la parte experimental de esta investigación se realizó en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, ICYTAL, de la Universidad Austral de Chile, ubicada en el Campus Isla Teja de la ciudad de Valdivia.

2.1 Materia prima

Las hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni fueron procesadas y secadas por diferentes métodos en la ciudad de la Serena en el Departamento de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de la Serena, ubicada en la IV Región de Coquimbo, Chile. Los 7 tipos de tratamientos de secado se muestran en el CUADRO 1.

CUADRO 1. Tipos de secados realizados a hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni

Nomenclatura	Tipo de tratamiento
SOLAR	Secado por panel solar
SOMBRA	Secado directo al sol
CD	Secado convectivo
VAC	Secado al vacío
IR	Secado por infrarrojos
MW	Secado por microondas
FD	Secado por liofilizado

2.2 Metodología

A partir de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni secadas por siete tipos de métodos diferentes, los cuales fueron: secado al vacío, secado por microondas, secado convectivo, secado por infrarrojo, secado por liofilizado, secado por paneles solares y secado directo al sol, se procedió a medir la temperatura de transición vítrea (T_g) de estas siete muestras, por el método de calorimetría diferencial de barrido (DSC), es decir 7 tratamientos con 3 repeticiones por cada uno, en total 21 ensayos. A las que a su vez se les midió la humedad por el método gravimétrico.

2.2.1 Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Las propiedades térmicas de temperatura de transición vítrea (T_g) de las hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni, las cuales estaban secadas por diferentes métodos, fueron analizadas por calorimetría diferencial de barrido. Se pesó en crisol de aluminio de 40 μ L de capacidad, entre 2-5 mg

de las muestras de hojas secas de stevia. Los crisoles fueron sellados herméticamente y sometidos al DSC, el cual se encuentra en presencia del gas de purga nitrógeno analítico a un flujo de 40 mL por minuto, una vez dentro del equipo las muestras fueron primeramente enfriadas a una temperatura que varió de 25 °C hasta -35 °C, a una velocidad de 30 °C por minuto, para luego ser calentadas de -35 °C hasta 350 °C a una velocidad de 10 °C por minuto, para finalmente enfriar nuevamente de 350 °C a 30 °C a una velocidad de 40 °C por minuto. Los cambios fueron registrados a través del software STARe 9.01 de Mettler Toledo, este registro sentó los parámetros para el posterior análisis que llevó a la obtención del punto medio (midpoint) de acuerdo al estándar ASTM-IEC, esto se hizo en triplicado a las 7 muestras de hojas secas de stevia.

2.2.2 Determinación de humedad mediante método gravimétrico por desecación en estufa. Se empleó una estufa con circulación forzada de aire a presión atmosférica. Se ocuparon capsulas de aluminio con tapa perfectamente limpias, las cuales se dejan secar en la estufa a 105 °C por 1 hora, para luego dejarlas en un desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente, aproximadamente en 30 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, se pesaron entre 3-5 g de la muestra de hojas de stevia, las cuales previamente fueron trituradas, se introdujeron las capsulas con las muestras de stevia en la estufa a 105 °C por 5-6 horas aproximadamente. Transcurrido este tiempo, se retiran las cápsulas de la estufa y se dejan en un desecador, para proceder a pesar en cuando se alcance la temperatura ambiente.

El contenido en agua de la muestra se calculó por diferencia de peso y se expresa en porcentaje de humedad (g de agua/100 g de muestra):

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{M_h - M_s}{M_h} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

En donde:

M_h = Peso de la muestra humeda

M_s = Peso de la muestra seca

3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Propiedades térmicas

Se evaluó la temperatura de transición vítrea por medio de la técnica de calorimetría diferencial de barrido, muy utilizada en la actualidad, la cual mide la energía absorbida o liberada por una muestra cuando ocurre una transición de fase.

3.1.1 Temperatura de transición vítrea (Tg). Temperaturas obtenidas mediante DSC por el punto medio (midpoint) de acuerdo al estándar ASTM-IEC.

CUADRO 2. Temperaturas de transición vítrea obtenidas experimentalmente por DSC.

Tratamiento	Tg (°C)*
CD	74,01 ± 0,60 ^a
FD	69,21 ± 0,42 ^b
VAC	57,48 ± 0,59 ^c
SOLAR	48,60 ± 5,22 ^d
MW	44,42 ± 0,83 ^e
SOMBRA	43,08 ± 0,51 ^e
IR	42,09 ± 2,19 ^e

* Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± desviación estándar.

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

En el CUADRO 2 se muestran los resultados obtenidos de Tg, por medio de calorimetría diferencial de barrido de diferentes muestras de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni, secadas por distintos procesos.

3.2 Contenido de humedad obtenido mediante método gravimétrico

CUADRO 3. Humedad de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni secadas por distintos procesos

Tratamiento	Humedad* (%)
CD	5,15 ± 0,04 ^f
FD	5,59 ± 0,07 ^e
VAC	7,67 ± 0,10 ^d
SOLAR	8,72 ± 0,10 ^c
MW	10,73 ± 0,16 ^b
SOMBRA	10,92 ± 0,08 ^b
IR	11,10 ± 0,03 ^a

* Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± desviación estándar. Valores con diferentes letras en una columna son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

En el CUADRO 3 se muestran los resultados obtenidos a partir del método gravimétrico por desecación en estufa de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni, secadas por distintos procesos. Se siguió la metodología establecida por la AOAC (1995).

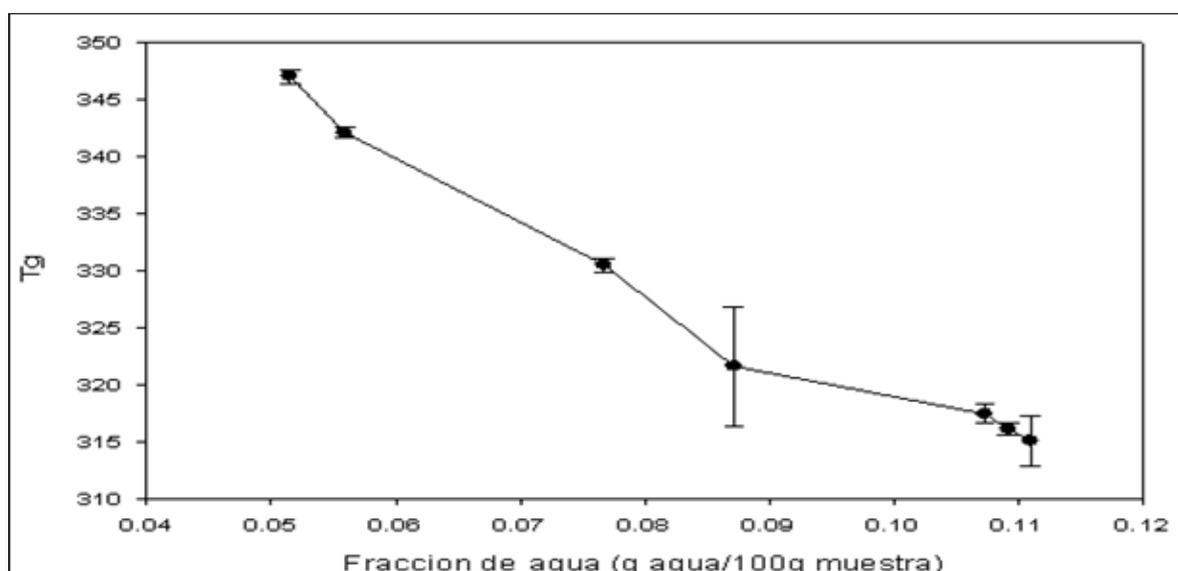


FIGURA 2. Temperaturas de transición vítrea obtenida experimentalmente en relación a la fracción de agua de hojas de stevia secadas por diferentes métodos y con distinto contenido de humedad

Como es posible de apreciar en la FIGURA 2, la temperatura Tg de las hojas de stevia secadas por diferentes métodos obtenidos experimentalmente mediante DSC, en relación a la fracción de agua, con valores que varían de 0,05 a 0,11 (g agua/100g muestra), y resultados de Tg que van de 315 a 347 K, dependiendo del tipo de tratamiento realizado.

Se observó una disminución de la temperatura de transición vítrea al ir aumentando la humedad de las muestras, esto es debido al efecto plastificante del agua.

El modelo de Gordon-Taylor (Ec. 1), es utilizado para predecir dicho efecto plastificante del agua, este considera a los alimentos como mezclas binarias entre sólidos y agua, en donde se utiliza un Tg para el agua pura de 138 K, una temperatura de transición vítrea de sólidos amorfos (T_{gs}) de 379,9 K y constante k de Gordon-Taylor de 3.01, los cuales fueron obtenidos mediante linealización.

CUADRO 4. Valores de Tg obtenida experimentalmente y los calculados por el modelo de Gordon-Taylor en relación a la fracción de agua

Tratamiento	X agua	Tg experimental (K)	Tg Gordon-Taylor (K)
CD	0,051 ± 0,04 ^f	347,01 ± 0,60 ^a	345,92
FD	0,056 ± 0,07 ^e	342,09 ± 0,42 ^b	343,31
VAC	0,077 ± 0,10 ^d	330,48 ± 0,59 ^c	331,51
SOLAR	0,087 ± 0,10 ^c	321,60 ± 5,22 ^d	325,88
MW	0,107 ± 0,16 ^b	317,42 ± 0,83 ^e	315,63
SOMBRA	0,109 ± 0,08 ^b	316,09 ± 0,51 ^e	314,70
IR	0,111 ± 0,03 ^a	315,09 ± 2,19 ^e	313,82

CUADRO 5. Valores de temperatura de transición vítrea de sólidos y constante k de Gordon-Taylor obtenidos por linealización

Constante k de Gordon-Taylor (Adimensional)	T _{gs} (K)	T _{gw} (K)
3,01	379,9	138

A través del CUADRO 4 se puede observar los valores de la fracción de agua (g agua/100 g muestra), las temperaturas de transición vítrea obtenidas experimentalmente y las simuladas por el modelo de Gordon-Taylor en hojas *Stevia rebaudiana* secadas por diferentes tratamientos, en donde por medio de análisis de varianza realizado con STATGRAPHICS Plus se determinó con un 95% de confianza que existe diferencia significativa entre las medias de la fracción de agua de hojas de *Stevia rebaudiana* sometidas a diferentes métodos de secado. El mismo análisis se realizó para las medias de Tg obtenida experimentalmente, se tiene que el p-valor del test F es inferior a 0,05 (p<0,05), por lo que hay diferencia estadísticamente significativa entre las Tg medias de

un nivel de tratamientos a otro, para un nivel de confianza del 95%. Estas diferencias se deben al comportamiento de las hojas de *Stevia rebaudiana*, sobre los distintos tratamientos de secado a los que fueron sometidos.

Se sabe que la humedad de equilibrio disminuye proporcionalmente, al aumentar la temperatura de tratamiento. Con el conocimiento de las isoterms de sorción se puede saber el contenido de humedad que alcanza un producto, el cual tiene directa relación con la humedad relativa final que se alcanzó en cada tratamiento. Esto explica la diferencia de humedad en los distintos tipos de secado.

En el caso del secado al sol directo se tiene un mayor contenido de humedad (10,9%), debido a que está en contacto directo con la humedad relativa del ambiente, a diferencia del tratamiento por secado convectivo, en el cual se suministra una corriente de aire caliente forzado, el que llega a una humedad de 5,2%. Esto se puede explicar por la diferencia entre la humedad relativa final que se alcanza en cada tratamiento, lo que concuerda con los estudios realizados sobre isoterms de sorción (Lemus-Mondaca, et al., 2014). En dicho estudio se observó la humedad relativa que se alcanzó en cada tratamiento de secado, esta relación coincide con trabajos recientes sobre isoterms de sorción y cinética de secado de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni realizado por GARCÍA (2014), que obtuvo resultados similares (JERIA y POZO, 2011.)

En la obtención de Tg experimental, se obtuvo valores de desviación estándar elevados, para el caso de secado por panel solar y secado por infrarrojos, $321,60 \pm 5,22$ K y $315,09 \pm 2,19$ K respectivamente. La explicación a estos resultados se debe a que Tg depende de los componentes del alimento, ya sean flavonoides, poli fenoles, polisacáridos etc., para el caso de hojas de stevia es de especial interés los polisacáridos, principalmente los azúcares presentes en ésta, ya que la fibra le confiere la estructura sólida a un producto, pero son también los compuestos que se ablandan con la temperatura o el contenido de agua, por lo tanto, influirán en la temperatura de transición vítrea.

Durante el proceso de secado al sol, puede ocurrir que la distribución de calor sea muy heterogénea, lo que conlleva a que algunas muestras de fibra o los azúcares presentes en las hojas de stevia (steviosidos) se vean afectados en un rango muy heterogéneo también, esto explica el mayor rango de temperaturas, a las cuales se pueden encontrar la transición vítrea.

El caso puede ser similar durante el proceso de secado por IR, aunque en menor grado. Este fenómeno se puede deber a la rapidez de la transferencia de calor, ésta puede no

ser homogénea en todas las estructuras, lo que produce que el cambio de textura en fibras o polisacáridos no sea homogéneo. Donde llega mucha energía térmica ocurre una mayor transformación en la textura de las hojas de stevia, en cambio en donde no llega el calor, no ocurren cambios de textura. Estos cambios tienen directa relación con la Tg resultante. Esto podría explicar la alta variación, es decir una desviación estándar mayor que en los demás casos.

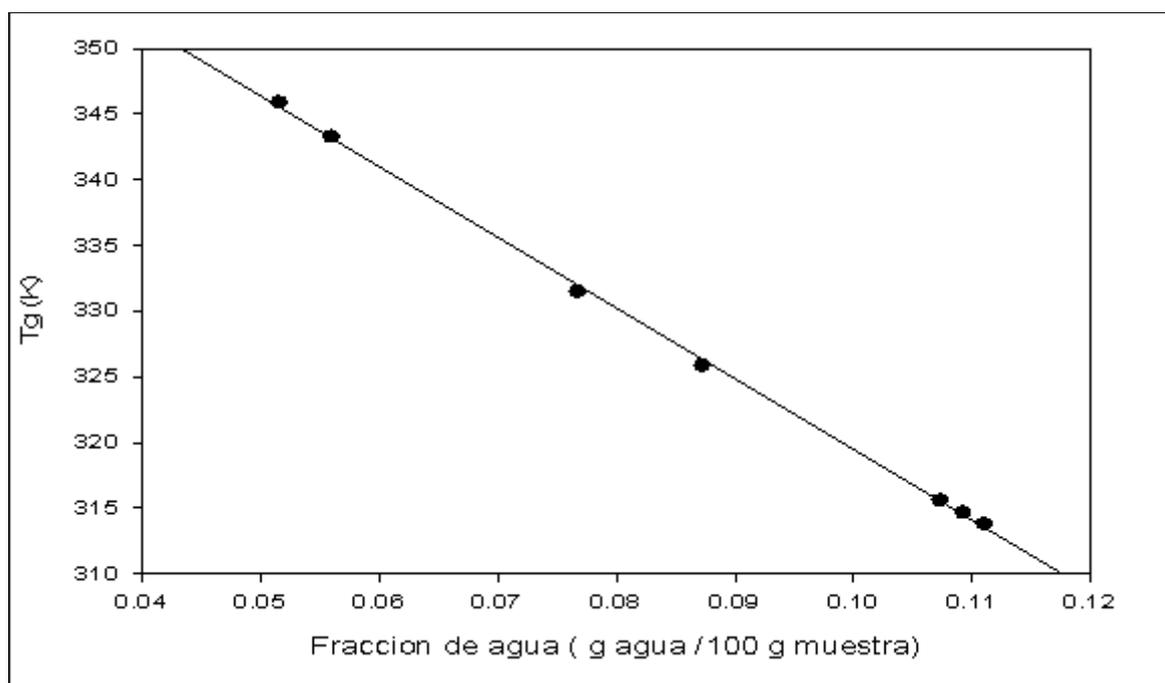


FIGURA 3. Temperaturas de transición vítrea obtenida mediante el modelo de Gordon-Taylor en relación a la fracción de agua de hojas de stevia secadas por diferentes métodos y con distinto contenido de humedad

Como se muestra en la FIGURA 3, la relación lineal con la que se comportan las temperaturas de transición vítrea obtenidas por el modelo de Gordon-Taylor, el cual demuestra una clara relación entre la fracción de agua (g agua/100g muestra) y la Tg, se observa que a mayor fracción de agua, menor es la temperatura de transición vítrea de las hojas de stevia. Esta información sería concordante con estudios sobre el efecto plastificante del agua en almidón realizado por COVA *et al.*(2009). Resultados similares se obtuvieron en estudios sobre polímeros realizado por BLAZI *et al.* (2005).

CUADRO 6. Correlación entre temperatura de transición vítrea experimental y la calculada por el modelo de Gordon-Taylor.

		Correlaciones	
		Tg Experimental	Tg Gordon-Taylor
Tg Experimental	Correlación de Pearson	1	0,987**
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	7	7
Tg Gordon-Taylor	Correlación de Pearson	0,987**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	7	7

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la temperatura de transición vítrea obtenida experimentalmente y la predicha por el modelo de Gordon-Taylor anteriormente expuesta en el CUADRO 6, es de 0,987 con un 1% de significación. Dicho resultado indica que tal relación es altamente significativa y el modelo de Gordon-Taylor es aceptable para predecir temperaturas de transición vítrea en hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni.

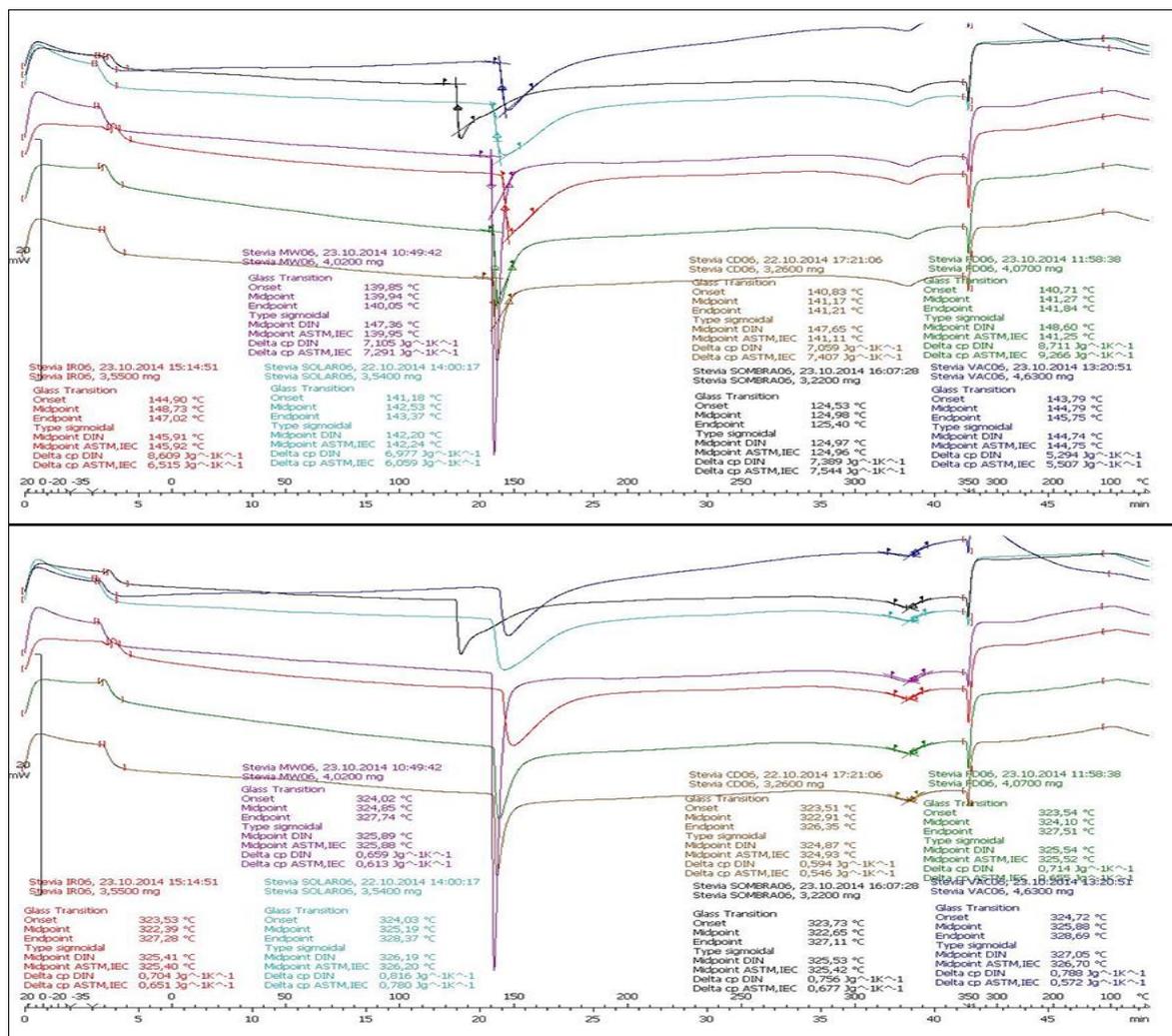


FIGURA 4. Termogramas de distintos puntos de fusión en hojas de stevia

En la FIGURA 4 se observan tres picos que se encuentran en el rango de temperatura a las cuales fueron sometidas las hojas de stevia, los que corresponden a tres fusiones que pueden deberse a la presencia de los distintos tipos de azúcares existentes en las hojas de stevia. La primera fusión observable ocurre un rango de temperatura que varía de 125 °C a 145°C, se cree por medio de revisión bibliográfica que este punto de fusión puede ser por la presencia de glucosa. Dado que la glucosa no está presente en la Stevia, este punto de fusión es probablemente de uno de los esteviosidos. La segunda y tercera fusión observable ocurren dentro de un rango de temperatura que varía entre los 325°C y 350°C aproximadamente, estos puntos son atribuibles algún tipo de glicósidos de esteviol presentes en las hojas de stevia. Esto comprueba la gran estabilidad que tienen los edulcorantes de la stevia al ser sometidos a tratamientos térmicos a altas temperaturas.

4 CONCLUSIONES

La temperatura de transición vítrea, de hojas *Stevia rebaudiana* Bertoni secadas por distintos tratamientos, obtenida por calorimetría diferencial de barrido, es dependiente del contenido de humedad que ésta contenga.

Se observó que las hojas de stevia con un mayor contenido de humedad registran un menor Tg, lo que confirma el poder plastificante del agua sobre esta propiedad.

La temperatura de transición vítrea de las hojas de stevia no depende del tratamiento de secado realizado, sino del contenido de humedad que se alcance en cada tratamiento.

Al momento de determinar la Tg de hojas de stevia es de suma importancia considerar la composición de ésta, ya que estos componentes influirán directamente en los resultados obtenidos.

Los parámetros encontrados para el modelo de Gordon-Taylor fueron de 379,9 K para la temperatura de transición vítrea sólidos secos de la hoja, y una constante k de 3,01. Se han registrado valores similares en estudios sobre hojas de menta y otros frutos secos, esto puede deberse al tipo de azúcar presente.

El modelo de Gordon-Taylor en relación a los datos obtenidos experimentalmente arrojó una correlación de 0,987, lo que significa que dicho modelo puede considerarse altamente aceptable para predecir Tg en función a la fracción de agua de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni.

Se detectó que ocurren varias fusiones a altas temperaturas, lo que se le puede atribuir a la presencia de glicósidos de esteviol presentes en las hojas de stevia. Esto indica que los edulcorantes de la stevia son muy estables a altas temperaturas.

5 BIBLIOGRAFÍA

- ALIMENTARIUS. 2006. Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. *PROPUESTAS*, 4, 25.
- ARE, W., ACTION, S., GRANTS, C., FELLOWS, C., CHAIN, C., MARKET, C., y LABOR, A. 1997. Environment and Sustainability
- ALVES-FILHO, O., EIKEVIK, T., MULET, A., GARAU, C., y ROSSELLO, C. 2007. Kinetics and mass transfer during atmospheric freeze drying of red pepper. *Drying Technology*, 25(7-8), 1155-1161.
- ARÉVALO, A., y MURR, F. E. 2006. Kinetics of vacuum drying of pumpkin: Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 562-567.
- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 1995. Edited by Kenneth Herlich ; I:78-79, 237, 247, 272.
- BLASI, P., D'SOUZA, S., SELMIN, F., y DELUCA, P. 2005. Plasticizing effect of water on poly (lactide-co-glycolide). *Journal of controlled release*, 108(1), 1-9.
- CHUA, K., CHOU, S., MUJUMDAR, A., HO, J., y HON, C. 2004. Radiant-convective drying of osmotic treated agro-products: effect on drying kinetics and product quality. *Food Control*, 15(2), 145-158.
- CLAUSSEN, I., USTAD, T., STRO MMEN, I., y WALDE, P. M. 2007. Atmospheric freeze drying—A review. *Drying Technology*, 25(6), 947-957.
- COELLO, V., y GARCÉS, C. 2012. *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)* (Doctoral dissertation, TESIS DE GRADO DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Guayaquil, Ecuador).
- COVA, A., SANDOVAL, A., LAREDO, E., y MÜLLER, A. J. 2009. Efecto plastificante y anti-plastificante del agua en sistemas a base de almidón. *XIII Coloquio Venezolano de Polímeros*, 11.
- CURI, R., ALVAREZ, M., BAZOTTE, R., BOTION, L., GODOY, J., y BRACHT, A. 1985. Effect of Stevia rebaudiana on glucose tolerance in normal adult humans. *Brazilian journal of medical and biological research= Revista brasileira de pesquisas médicas e biológicas/Sociedade Brasileira de Biofísica...[et al.]*, 19(6), 771-774.

- DAS, I., DAS, S., y BAL, S. 2009. Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. *Journal of food engineering*, 95(1), 166-171.
- DJENDOUBI, N., BOUDHRIOUA, N., KECHAOU, N., COURTOIS, F., y BONAZZI, C. 2012. Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 433-441.
- DURÁN, S., RODRÍGUEZ, M., CORDÓN, K., y RECORD, J. 2012. Estevia (stevia rebaudiana), edulcorante natural y no calórico. *Revista chilena de nutrición*, 39(4), 203-206.
- FUDHOLI, A., SOPIAN, K., RUSLAN, M., OTHMAN, M., y YAHYA, M. 2011. Analytical and Experimental Studies on the Thermal Efficiency of the Double-Pass Solar Air Collector with Finned Absorber. *American Journal of Applied Sciences*, 8(7).
- GARCÍA, F. 2014. Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- GOFF, H. 1997. Measurement and interpretation of the glass transition in frozen foods. In *Quality in Frozen Food* (pp. 29-50). Springer US.
- GORDON, M., y TAYLOR, J. 1952. Ideal copolymers and the second-order transitions of synthetic rubbers. i. non-crystalline copolymers. *Journal of Applied Chemistry*, 2(9), 493-500.
- HALE, A. 2001. Stevia rebaudiana: Propiedades, mercados y factibilidad de producción de un cultivo de venta al contado en Bolivia. *USAID/Bolivia*. 21p. Disponible desde Internet en: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACU375.pdf (con acceso el 10/02/2009).[Links].
- HEITMANN, J., y COFRÉ, A. 2011. Estudio del secado convectivo de hojas de Stevia rebaudiana y factibilidad técnico-económica de una planta elaboradora de edulcorante a base de Stevia.
- JARAYAMAN, K., y DAS, D. 1995. Drying of fruits and vegetables. In: A. S. Mujumdar (Ed.). pp. 643–690. Handbook of industrial drying, Marcel Dekker Inc. New York.
- JATURONGLUMLERT, S., y KIATSIRIROAT, T. 2010. Heat and mass transfer in combined convective and far-infrared drying of fruit leather. *Journal of food engineering*, 100(2), 254-260.
- JAYA, S., y DAS, H. 2003. A vacuum drying model for mango pulp. *Drying technology*, 21(7), 1215-1234.

- JAYA, S., DAS, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 125-134.
- JENA, S., y DAS, H. 2007. Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 92-99.
- JEWETT, J y SERWEY, R. 2005. Física para Ciencias e Ingeniería. Editorial Thomson International. España. 999 p.
- JOWITT, R., ESCHER, F., HALLSTROM, B., MEFFERT, H., SPIESS, W. y VOS, G. 1981. Physical Properties of Foods: Applied Science Publishers, London, U.K.
- LABUZA, T., KAAANANE, A., CHEN, J. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *Journal of Food Science*, 50(2), 385-392.
- LANDÁZURI, P., y TIGRERO, J. 2009. Stevia rebaudiana bertonii, una Planta Medicinal. *boletín técnico. Boletín técnico. Edición especial. Ecuador*.
- LEMUS-MONDACA, R., VEGA, A., MORAGA, N., y ASTUDILLO, S. 2014. Dehydration of *Stevia Rebaudiana* Bertoni Leaves: Kinetics, Modeling and Energy Features. *Journal of Food Processing and Preservation*
- LIAPIS, A., y BRUTTINI, R. 1995. Freeze-drying of pharmaceutical crystalline and amorphous solutes in vials: Dynamic multi-dimensional models of the primary and secondary drying stages and qualitative features of the moving interface. *Drying Technology*, 13(1-2), 43-72.
- NAVARRETE, N. 1998. *Termodinámica y cinética de sistemas: alimento entorno*. Ed. Univ. Politéc. Valencia.
- NOWAK, D., y LEWICKI, P. 2004. Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 353-360.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN Y ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2008. Comité experto de la fao/oms sobre aditivos alimentarios. Reunión Sesenta y nueva Roma, Italia, 17-26 Junio 2008-07-25.
- ÖZDEMİR, M., y DEVRES, O. 2000. Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 45(1), 17-24.
- PERE, C., y RODIER, E. 2002. Microwave vacuum drying of porous media: experimental study and qualitative considerations of internal transfers. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 41(5), 427-436.
- PÉREZ, L. 2009. Determinación de la fracción de agua no congelada en murta (*Ugni molinae* Turcz) mediante termoanálisis con el calorímetro diferencial de barrido.

- PUROHIT, P., KUMAR, A., y KANDPAL, T. C. 2006. Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation. *Solar Energy*, 80(12), 1568-1579.
- RAGHAVAN, G., ORSAT, V., y MEDA, V. 2005. Microwave processing of foods. *Stewart Postharvest Review*, 1(2), 1-8.
- RATTI, C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of food engineering*, 49(4), 311-319.
- RATTI, C y MUJUMDAR, A. 1995. Infrared drying. In Handbook of industrial Drying. A.S. Mujumdar (ed), second edition, Marcel Dekker, New York, NY.
- SAKAI, N., y HANZAWA, T. 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology*, 5(11), 357-362.
- SANGA, E., MUJUMDAR, A., y RAGHAVAN, G. 2000. Principles and applications of microwave drying. *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*, 253-289.
- SIMAL, S., FEMENIA, A., GARAU, M., y ROSSELLÓ, C. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of food Engineering*, 66(3), 323-328.
- SOYSAL, Y., AYHAN, Z., EŞTÜRK, O., y ARIKAN, M. 2009. Intermittent microwave–convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality. *Biosystems Engineering*, 103(4), 455-463.
- SURINACH, S., BARO, M., BORDAS, S., CLAVAGUERA, N., y CLAVAGUERA-MORA, M. T. 1992. La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr*, 31(1).
- THULASIDAS, T., ABRAHAM, M., y CERRO, R. 1997. Flow patterns in liquid slugs during bubble-train flow inside capillaries. *Chemical Engineering Science*, 52(17), 2947-2962.
- TIGRERO, J., y LANDÁZURI, P. 2009. Stevia rebaudiana Bertoni, una planta medicinal.
- TOGRUL, I., y PEHLIVAN, D. 2003. "Modeling of drying kinetics of simple apricot", *Journal of Food Engineering*: 58, 23-32.
- VEGA, A., LÓPEZ, J., AH-HEN, K., TORRES, M., y LEMUS, R. 2014. Thermodynamic Properties, Sorption Isotherms and Glass Transition Temperature of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Food Technology and Biotechnology*, 52(1), 83-92.
- VEGA, A., MIRANDA, M., VERGARA, J., URIBE, E., PUENTE, L., MARTÍNEZ, E. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.),

an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541-2547.

VEGA, A., DI SCALA, K., RODRÍGUEZ, K., LEMUS, R., MIRANDA, M., LÓPEZ, J., y PEREZ, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653.

VIJAYAVENKATARAMAN, S., INIYAN, S., y GOIC, R. 2012. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2652-2670.

WU, L., ORIKASA, T., OGAWA, Y., y TAGAWA, A. 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422-429.

ANEXOS

ANEXO 1. Termogramas de obtención del punto medio (midpoint) de acuerdo al estándar ASTM-IEC para hojas de Stevia secadas por diferentes tratamientos.

