

Tesis de Maestría

# Efecto de la incorporación de trehalosa mediante un tratamiento osmótico en las características fisicoquímicas y sensoriales de banana liofilizada

Diaz Barrios, Luis Fernando

2017

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Diaz Barrios, Luis Fernando. (2017). Efecto de la incorporación de trehalosa mediante un tratamiento osmótico en las características fisicoquímicas y sensoriales de banana liofilizada. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

[http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n6529\\_DiazBarrios](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6529_DiazBarrios)

Cita tipo Chicago:

Diaz Barrios, Luis Fernando. "Efecto de la incorporación de trehalosa mediante un tratamiento osmótico en las características fisicoquímicas y sensoriales de banana liofilizada". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2017.

[http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n6529\\_DiazBarrios](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6529_DiazBarrios)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires



**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Maestría en Bromatología y Tecnología de la Industrialización de Alimentos**

**“Efecto de la incorporación de trehalosa mediante un tratamiento osmótico en las características fisicoquímicas y sensoriales de banana liofilizada”**

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires en Bromatología y Tecnología de la Industrialización de Alimentos.

**Autor: Ingeniero. Luis Fernando Diaz Barrios**

**Directora de tesis: Dra. Mara Virginia Galmarini**

**Departamento de Industrias**

**Fecha de Defensa: Diciembre 14 de 2017**

**Buenos Aires**

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de las personas que estuvieron conmigo en todo momento, a pesar de la distancia y de las dificultades.

A Amparo, Arnulfo y Marcela por su colaboración, comprensión, apoyo incondicional, su amor, esfuerzo y por brindarme la oportunidad de cumplir uno de mis sueños. A Margareth por ser mi consejera y motivadora incondicional cuando las cosas se ponían difíciles, especialmente el segundo día de la nueva experiencia. A Angélica por enseñarme que las cosas de la vida se alcanzan con sacrificio y dedicación.

A Mara Virginia Galmarini por su conocimiento, apoyo y por brindarme su colaboración incondicional. También quiero agradecerle de manera especial a Andrea Nieto por el compromiso, el apoyo incondicional y la confianza depositada en mí, además por compartir su conocimiento y sus consejos durante la investigación.

Además me gustaría agradecerle especialmente al Dr. Jorge Chirife por enriquecer mi conocimiento por medio de su sabiduría, y por permitirme ser parte de su equipo de investigación. Además de los ratos de esparcimiento con las charlas de fútbol, especialmente por las buenas palabras sobre la selección de Colombia.

Quiero agradecerle a la Universidad Católica Argentina (UCA), Facultad de Ciencias Agrarias y a la Universidad de Buenos Aires por facilitarme el uso de sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación. Además agradecerles encarecidamente a las otras personas integrantes del equipo de investigación de la UCA como Caro, Virginia, Rosa y por supuesto a Clara.

Me gustaría agradecerles también a mis amigos, compañeros de estudio y a una francesa que es casi colombiana por los momentos agradables y por el apoyo incondicional en las actividades desarrolladas en esta investigación.

Por último, quiero hacer una mención importante a los integrantes del panel sensorial a Ailen, Catalina, Carla, Delfina, Daniela, Florencia, Josep, Josefina, Milagros, MariaJesus, Leticia y Pilar. Por su dedicación e interés en el desarrollo de la investigación.

## **INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
1.1. REACCIONES DE PARDEAMIENTO .....	12
1.2. METODOS DE SECADO .....	14
1.2.1. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	15
1.2.2. LIOFILIZACIÓN.....	16
1.3. TREHALOSA .....	18
1.3.1. PROCESO DE OBTENCIÓN.....	19
1.4. SACAROSA.....	21
1.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS LIOFILIZADOS. ....	21
1.5.1. TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA ( $T_g$ ).....	22
1.5.2. ISOTERMAS DE SORCIÓN.....	27
1.5.3. MEDICION DEL COLOR.....	30
1.5.4. TEXTURA INSTRUMENTAL .....	34
1.5.5. ANALISIS SENSORIAL.....	36
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	41
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	43
3.1. PREPARACIÓN DE MUESTRA.....	43
3.1.1. PRE-TRATAMIENTO .....	43
3.1.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	44
3.1.3. LIOFILIZACIÓN .....	44
3.1.4. ALMACENAMIENTO.....	46
3.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.....	46
3.3. DETERMINACIÓN DEL PH.....	47
3.4. MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL AGUA ( $a_w$ ) .....	47
3.5. MEDICIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES ( $^{\circ}B_x$ ).....	47
3.6. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA POR CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC) .....	47
3.7. ISOTERMAS DE SORCIÓN .....	48
3.8. MEDICIÓN DEL COLOR.....	49
3.10. MEDICIÓN DE TEXTURA .....	51

3.11. ANÁLISIS SENSORIAL.....	55
3.11.1. ENSAYO DISCRIMINATIVO .....	55
3.11.2. ENSAYO DESCRIPTIVO .....	56
8 cm = Papa frita.....	57
3.11.3. PRUEBA HEDÓNICA .....	59
<b>4. RESULTADOS y DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA BANANA UTILIZADA ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN. ....</b>	<b>61</b>
4.2. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA ( $T_g$ )	62
4.3. ANÁLISIS DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN .....	64
4.5. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	77
4.5.1. COMPORTAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE BANANAS LIOFILIZADAS SIN Y CON DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA PREVIA .....	77
4.5.2. INFLUENCIA DEL ALMACENAMIENTO A 38°C EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS. ..	82
4.5.3. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DE BANANA LIOFILIZADA EQUILIBRADAS A DIFERENTES ACTIVIDADES DE AGUA (0,22 y 0,33).....	89
4.6. ANÁLISIS SENSORIAL.....	96
4.6.1. PRUEBA DISCRIMINATIVA .....	96
4.6.2. PRUEBA DESCRIPTIVA.....	97
4.6.3. PRUEBA HEDÓNICA .....	101
4.7. CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y EL ANÁLISIS SENSORIAL DE LAS MUESTRAS LIOFILIZADAS. ....	103
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>115</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Constantes cinéticas $K_M$ , para la reacción de la PPO con diferentes sustratos .....	13
Tabla 1.2. Propiedades físicas y sensoriales de la trehalosa.....	18
Tabla 3.1. Actividades de agua ( $a_w$ ) de sales en soluciones saturadas a 36°C.....	49
Tabla 3.2. Definición de los descriptores y referencias utilizados. A) Color.....	57
Tabla 3.2. Definición de los descriptores y referencias utilizados. B) Atributos de aroma y sabor.....	57
Tabla 3.2. Definición de los descriptores y referencias utilizados. C) Atributos de textura.....	58
Tabla 4.1. Características fisicoquímicas de la banana fresca y luego de los diferentes tratamientos de secado. Actividad de agua ( $a_w$ ) y grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) antes y después del secado osmótico y de la liofilización.....	61
Tabla 4.2. Valores de $T_g$ y humedad de banana liofilizada con y sin tratamiento osmótico. ....	63
Tabla 4.2.1. Valores de transición vítrea para carbohidratos amorfos en estado anhidro.....	63
<b>Tabla 4.3.</b> Valores promedio de los parámetros cromáticos L, $a^*$ y $b^*$ en los sistemas CTRL, SAC y TRE a lo largo de 45 días de almacenamiento.....	73
Tabla 4.4. Valores medios de los parámetros mecánicos $f_R$ , $d_R$ , W y Y obtenidos a partir del ensayo de penetración realizado a las bananas liofilizadas.....	78
Tabla 4.5. Valores medios de los parámetros mecánicos obtenidos a partir del método de penetración de las muestras CTRL, SAC y TRE para el día cero de almacenamiento.....	79
Tabla 4.6. valores medios de los parámetros mecánicos $f_R$ , $d_R$ , W y Y obtenidos a partir del ensayo de penetración realizado a las bananas liofilizadas durante el almacenamiento.....	84
Tabla 4.7. Valores medios de los parámetros mecánicos obtenidos a partir del método de penetración de las muestras CTRL, SAC y TRE equilibradas con la solución salina saturada de acetato de potasio (CTRL_0,22; SAC_022 y TRE_0,22) y cloruro de magnesio (CTRL_0,33; SAC_0,33 y TRE_0,33).....	91

Tabla 4.8. Resultados del Test del Triángulo para los sistemas SAC y TR.....	96
Tabla 4.9. Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el desempeño del panel en la realización del perfil descriptivo.....	98
Tabla 4.10. Valores promedio y su error de cada descriptor por producto.	99
Tabla 4.11: Valor promedio y desvió estándar por descriptor para las muestras SAC y TRE. ....	100
Tabla 4.12. Valores de F obtenidos mediante un análisis de la varianza a tres factores la prueba hedónica para SAC y TRE. ....	101
Tabla 4.13. Valores promedio para cada atributo en la prueba hedónica teniendo en cuenta el orden de presentación de las muestras.....	102

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de fases del agua durante el proceso de liofilización.....	17
Figura 1.2. Estructura de la Trehalosa.....	18
Figura 1.3. Proceso enzimático de obtención de la trehalosa a partir del almidón...	19
Figura 1.4. Funcionamiento del complejo enzimático (MTSasa y MTHasa) durante la obtención de trehalosa. ....	20
Figura 1.5. Estructura de la sacarosa.....	21
Figura 1.6. Disposición de las moléculas en a) un sólido cristalino y b) un sólido amorfo.....	22
Figura 1.7. Formación de un sólido amorfo vítreo y gomoso a partir de una solución...	23
Figura 1.8 Termograma del sistema azucarado liofilizado.....	24
Figura 1.9. Curva de temperatura de transición vítrea en función del contenido de agua para un sistema de trehalosa.....	26
Figura 1.10. Isotermas de sorción de agua para sistemas amorfo, cristalino y a sistemas que cristalizan a medida que aumenta la actividad de agua y el contenido de agua.....	27
Figura 1.11. Isoterma de sorción de agua típica en alimentos.....	29
Figura 1.12. curva de penetración con un texturómetro.....	35
Figura 1.13. Curva típica obtenida de un ensayo fuerza-deformación hasta ruptura.....	36
Figura 1.14. Secuencia y órganos involucrados en la percepción sensorial.....	37
Figura 3.1. Procedimiento para la obtención de las muestras.....	45
Figura 3.2. Equipo de calorimetría diferencial de barrido (DSC) del Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), La Plata, Argentina.....	48
Figura 3.3. Texturómetro Universal Instron. Provisto por la Universidad de Buenos Aires (UBA), Departamento de industrias.....	52
Figura 3.4. Determinación de los parámetros mecánicos Modulo de Young y Área bajo la curva a partir de la curva característica de Fuerza en función de la Deformación (distancia mm).....	52
Figura 4.1. Temperatura de transición vítrea en el punto medio ( $T_{gm}$ ) y punto final ( $T_{gf}$ ), en relación con el contenido de agua de dos muestras analizadas, puntos experimentales (valor promedio) que son modeladas con el modelo de Gordon y	



Taylor: Para un modelo de manzana (-o- $T_{gm}$ y -x- $T_{gf}$ ) y el modelo de banana ( $T_{gm}$ - $\Delta$ -) y ( $T_{gf}$ -+-). Moraga et al 2011.....	62
Figuras 4.3.A.1 – A4. Cinética de adsorción de agua a 36°C de banana liofilizada sin pre-tratamiento y pre-tratadas osmóticamente usando sacarosa y trehalosa en diferentes humedades relativas 11%, 23%, 33% y 43%.....	64
Figura 4.4. Isotherma de absorción de las muestras liofilizadas a 36 °C.....	67
Figura 4.5. A) Evolución de la luminosidad (L); B) evolución en la coloración rojiza ( $a^*$ ) y C) evolución del color amarillo ( $b^*$ ) durante el almacenamiento a 38°C.....	68
Figura 4.6. Cambios totales del color en las sistemas CTRL, SAC y TRE, durante el periodo de evaluación.....	70
Figura 4.7. Índice de pardeamiento de las muestras CTRL, SAC y TRE, durante el periodo de evaluación.....	71
Figura 4.8. Análisis discriminante de los componentes cromáticos L, $a^*$ , $b^*$ para las muestras CTRL, SAC y TRE al tiempo cero de almacenamiento.....	74
Figura 4.9. Análisis discriminante de los componentes cromáticos obtenidos en los diferentes sistemas CTRL, SAC y TRE al final del almacenamiento a 38 °C (45 días).....	76
Figura 4.10. Curva típica de fuerza (N) vs distancia (mm) de banana liofilizada: CTRL, SAC y TRE recién salidas del proceso de liofilización (día 0 de almacenamiento)..	77
Figura 4.11. Análisis discriminante de las estimaciones en las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de penetración ( $f_R$ , $\log_{10} d_R$ , $\log_{10} W$ y $\log_{10} Y$ , realizado a los diferentes sistemas, CTRL, SAC y TRE.....	81
Figuras 4.12 A y B Curvas de $f(N)$ vs $d$ (mm) de banana liofilizada: CTRL, SAC y TRE A) 15 días de almacenamiento a 38°C y B) 30 días de almacenamiento a 38°C.....	83
Figura 4.13. Análisis discriminante de las estimaciones en las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de penetración ( $f_R$ , $\log_{10} d_R$ , $\log_{10} W$ y $\log_{10} Y$ realizado a los diferentes sistemas almacenados a 38°C, CTRL, CTRL_30, SAC, SAC_30, TRE y TRE_30.....	88
Figura 4.14.A y 4.14.B: Curvas de Carga de compresión (N) vs Extensión por compresión. (mm) de banana CTR, banana deshidratada osmóticamente con SAC y TRE equilibradas a un $a_w$ de 0,22 y 0,33.....	89

Figura 4.15. Análisis de textura, por el método de penetración sobre la muestra de TRE equilibradas en una humedad relativa del 22%.....	93
Figura 4.16. Análisis de textura, por el método de penetración sobre la muestra de CTRL equilibradas en una humedad relativa del 33%.....	93
Figura 4.17 : Análisis discriminante de las estimaciones en las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de penetración ( $f_R$ , $\text{Log}_{10} d_R$ , $\text{Log}_{10} W$ y $\text{Log}_{10} Y$ , realizado a las muestra control y equilibradas a 0,22 aw y 0,33 aw, Banana control CTRL, SAC, y TRE, muestras equilibradas a 0,22 aw CTRL_0,22, SAC_0,22 y TRE_0,22 y las muestras equilibradas a 0,33 aw CTRL_0,33, SAC_0,33 y TRE_0,33.....	95
Figura 4.19. Correlación entre los parámetros instrumentales y los atributos sensoriales las muestras liofilizadas CTRL, SAC y TRE con humedad relativa de 11%.....	104

# **INTRODUCCIÓN**

## ***1. INTRODUCCIÓN***

Las frutas son ricas en fibras, carbohidratos vitaminas y minerales. Diferentes autores han demostrado la importancia del consumo de frutas para obtener una alimentación saludable. Debido a los efectos beneficiosos aportados por las frutas, se han desarrollado numerosas investigaciones que buscan metodologías innovadoras para mejorar el suministro de frutas a nivel mundial con características organolépticas óptimas para su consumo.

Las frutas de mayor consumo a nivel mundial son las de origen tropical. Dentro de este grupo se encuentra la banana que es la fruta más exportada a nivel mundial alcanzando la cuarta parte de la producción mundial, seguida por la manzana y el mango (Sonthipermpon, 2006). La producción mundial de banana fue incrementando en los últimos años. La producción mundial reportada por la FAO fue de 76,1 millones de toneladas en 2004, 96,2 millones de toneladas en el 2008 y 106,0 millones de toneladas al 2011. En 2012 la producción se redujo un 3,8% en comparación al año anterior debido a problemas climáticos. Esta fruta representa una fuente esencial de ingresos de empleo para los hogares de América Latina, el Caribe, Asia sudoriental y África accidental (Minagri, 2014).

Por otro lado, la banana es un alimento de importancia en países tropicales, debido a que es una fuente barata de energía (Ketiku. 1973), y los carbohidratos presentes son de fácil digestión. Lamentablemente, su inclusión en la dieta se ve limitada muchas veces por falta de disponibilidad dado que se trata de productos con una corta vida útil como todas las frutas. Por esta razón, se ha buscado aplicar la tecnología para mejorar su preservación. Este trabajo de investigación tiene por fin colaborar con estas mejoras en la preservación de banana teniendo en cuenta principalmente aspectos físicos y sensoriales.

Los procesos de deshidratación son los más utilizados en la industria alimentaria para la conservación de las propiedades sensoriales y nutricionales por largos periodos de tiempo, lo cual juega un papel importante para el consumidor actual. Que busca la inclusión

de alimentos de alto valor nutritivo y de fácil accesibilidad como son los “snack”, permitiéndole tener una alimentación saludable. Por lo tanto, el consumo de este tipo de alimentos es un nicho que se encuentra en crecimiento en los últimos años a nivel mundial, sin embargo, el elevado costo de producción disminuye su consumo, no obstante, los snack pueden llegar a posicionarse como una alternativa saludable y de accesibilidad en las diferentes épocas del año.

En los países asociados a la unión europea el consumo de frutas deshidratadas es elevado, la mitad de estas importaciones procede de los países en vía de desarrollo y está en constante incremento. Según estudios realizados por el Centro para la Promoción de las Exportaciones desde países de vías de desarrollo. CIB (2014), la demanda de productos tropicales y exóticos siguen siendo fuerte y en posible crecimiento para los próximos años (Rios, 2004).

Diferentes operaciones de preparación - como el corte y pelado - favorecen las reacciones de deterioro, como los diferentes tipos de reacciones de pardeamiento que reducen la calidad sensorial (modificando por ejemplo su color) y nutricional. Una de estas reacciones es el pardeamiento enzimático ocasionado por la presencia de polifenoloxidasas (PPO), muy importante en las frutas (Guerrero et al., 1996). También puede observarse cambios del color, debido al pardeamiento no enzimático, a causa de reacciones que involucran azúcares presentes en la pulpa (Levi et al. 1980). Se ha informado de otras reacciones de deterioro tal como una coloración rosa atribuido a la conversión de la antocianina después del tratamiento térmico (Bate-Smith 1954; Guerrero et al. (1996); Kayisu et al., 1981).

### ***1.1. REACCIONES DE PARDEAMIENTO***

Las reacciones de pardeamiento en los alimentos son fenómenos que se generan durante el procesamiento y almacenamiento cuando los vegetales son sometidos a daños mecánicos, procesos de concentración y elevación de la temperatura. Estas reacciones de

pardeamiento generan cambios en el color, sabor, apariencia y el valor nutricional de los alimentos involucrados. Además generan impresiones negativas en los consumidores.

El pardeamiento enzimático es uno de los principales problemas que reducen la vida útil de las frutas y hortalizas que son mínimamente procesadas (Artés et al., 1998). Este pardeamiento es una reacción de oxidación, que se produce cuando se causa un daño mecánico del tejido, por corte ó pelado y son expuestas al oxígeno molecular (O<sub>2</sub>), generando la conversión de compuestos fenólicos a pigmentos pardos conocidos como melanoidinas. Por lo tanto este deterioro presenta gran importancia en el impacto visual, perjudicando la aceptación organoléptica y calidad comercial, además conduce a la disminución del valor nutritivo de las frutas y hortalizas (Friedman, 1996). Cabe resaltar que los daños mecánicos producidos en los tejidos provocan la descompartimentación celular, permitiendo el contacto entre las enzimas endógenas localizadas en el citoplasma con los fluidos celulares. La enzima que cataliza la reacción de oxidación de los polifenoles en las frutas es la Polifenol Oxidasa (PPO), localizada en el citoplasma. El pardeamiento enzimático inducido por la PPO ocurre cuando dicha enzima interactúa con los sustratos fenólicos y el O<sub>2</sub> bajo condiciones óptimas de temperatura, pH y actividad de agua (Fennema, 2000).

El pardeo enzimático en la banana (*Musa acuminata*) es generado por la oxidación de la dopamina (3,4 dihidroxi-fenil-etil-amina) por la PPO, siendo la dopamina el sustrato más reactivo en comparación a otros como la D y L dopa, catecol y ácido clorogenico (Palmer, 1963). Las constantes cinéticas (K<sub>M</sub>) obtenidas por Palmer 1963 se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Constantes cinéticas K<sub>M</sub>, para la reacción de la PPO con diferentes sustratos

Sustrato	K <sub>M</sub> (M)
Dopamina	$6.3 \times 10^{-4}$
D,L- arterenol	$2.4 \times 10^{-3}$
L- arterenol	$3.6 \times 10^{-3}$
D,L- Dopa	$4.4 \times 10^{-2}$
L- Dopa	$6.6 \times 10^{-2}$

D-Dopa	$3.0 \times 10^{-2}$
Catecol	$2.6 \times 10^{-3}$
Ácido Clorogénico	$4.0 \times 10^{-3}$

Fuente: Palmer, 1963; Guerrero, 2009.

Por otra parte el pardeamiento no enzimático (PNE) se lleva a cabo entre grupos reductores de los azúcares y los grupos amino libres de las proteínas o aminoácidos, generando una serie de compuestos complejos que se polimerizan para dar como resultados las melanoidinas, compuestos pardos. Estas modificaciones ocasionan cambios en las propiedades organolépticas, como el color, aroma y sabor, que en algunos casos pueden ser favorables ó indeseables.

Cabe resaltar que las reacciones de pardeamiento no-enzimático no son catalizadas por enzimas sino que se deben a una serie de reacciones químicas divididas en tres grupos: Caramelización, Oxidación del ácido ascórbico y reacción de Maillard. Estas reacciones ocurren en los alimentos que contienen azúcares reductores y proteínas ó amino ácidos y son influenciadas por el aumento de la temperatura, el pH y la actividad de agua.

Una de las principales preocupaciones en la industria de frutas es controlar y minimizar las reacciones de pardeamiento no enzimático las cuales pueden ocurrir durante su elaboración y almacenamiento. La reducción de la temperatura durante el procesamiento y almacenamiento de frutas procesadas disminuye la cinética de pardeamiento no enzimático. La humedad de los alimentos es un factor que influye en las reacciones de PNE, y generalmente es máxima a humedades intermedias y se puede reducir mucho a muy bajas humedades

## **1.2. METODOS DE SECADO**

Durante los procesos de secado de alimentos se reduce notablemente la actividad de agua del producto, la cual influye directamente en la vida útil y en la textura (crocancia y fracturabilidad). Las frutas deshidratadas se pueden obtener por diferentes métodos convencionales como el secado por aire, como también por deshidratación osmótica,

liofilización, o por una combinación de estos métodos, por ejemplo la deshidratación osmótica previo al proceso de liofilización.

### ***1.2.1. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA***

La Deshidratación Osmótica (DO) es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua contenida en los alimentos por medio de una inmersión en soluciones hipertónicas, sin generar pérdidas considerables de compuestos aromáticos. Además se puede utilizar como un tratamiento previo al secado por liofilización, con el fin de disminuir los costos tecnológicos y energéticos (Rastogi et al. 2002).

El proceso de DO presenta dos tipos de fuerzas impulsoras, la primera es la difusión del agua presente en el alimento a la solución hipertónica y la segunda es la difusión de los solutos presentes en la solución hipertónica en el alimento. La primera fuerza impulsora se basa en la diferencia de presión osmótica, mientras que la segunda es atribuida a la diferencia de concentración entre el soluto y el alimento. Así se genera una eliminación parcial del agua del alimento, por medio de la inmersión del mismo en una solución concentrada de alta presión osmótica (o sea de baja actividad de agua) generando un flujo de agua y solutos (Kaymak y Sultanoglu, 2001; Saurelt et al. 1994). Los solutos más utilizados para la DO de frutas son esencialmente azúcares siendo por lejos la sacarosa el soluto más empleado.

El proceso de deshidratación osmótica presenta interesantes ventajas sobre otros métodos de secado, debido a su eficiencia energética ya que se puede realizar a temperatura ambiente, con un método de agitación constante para facilitar la difusión de los solutos. Como consecuencia de la remoción de agua, se presenta una modificación de las propiedades mecánicas y la alteración del color (Nieto et al., 2013). En la industria alimentaria, la DO previa a la liofilización es una ventaja debido a que reduce la humedad del producto disminuyendo luego el tiempo de congelación de la muestra, lo cual a su vez implica menor gasto energético durante la etapa de sublimación del hielo (Della, 2010). Es de hacer notar que la DO por sí misma no permite obtener productos estables a temperatura



ambiente, ya que la actividad de agua de los productos obtenidos luego de la ósmosis sigue siendo relativamente alta y no inhibe el crecimiento de muchos microorganismos como tampoco las reacciones de pardeamiento no enzimático. La DO generalmente es la etapa preliminar de un proceso que incluye una reducción más intensa de la actividad de agua, lo que se logra por deshidratación en corriente de aire caliente o por liofilización.

El azúcar seleccionado como agente osmótico y su concentración influyen en la difusión y absorción en el tejido de las frutas (Lewicki, 2004). Por otro lado, el uso de disacáridos y polisacáridos durante el proceso de DO puede facilitar la formación de estructuras amorfas vítreas en los procesos subsecuentes de secado, siendo estas estructuras de muy baja movilidad molecular lo cual facilita la estabilidad física del producto final.

### ***1.2.2. LIOFILIZACIÓN***

La liofilización es un método de secado en el cual el producto se congela y luego en una cámara con vacío se realiza la eliminación del agua mediante el paso del estado sólido (hielo) al estado vapor (sublimación del agua). Para realizar este cambio de fase, es necesario un aporte de energía la cual es suministrada por la placa de calefacción. Esta deshidratación a bajas temperaturas disminuye la cinética de las reacciones de degradación, aumenta la retención de aromas y compuestos termosensibles los cuales quedan protegidos en la matriz amorfa generada por los carbohidratos (Chirifel y Karel, 1973). Los productos liofilizados hasta una baja actividad de agua (0,10-0,15) presentan una larga vida útil siempre que el material de empaque sea el adecuado.

La liofilización puede ser considerada como una multi-operación, ya que ocurren numerosas etapas durante el proceso (Figura 1.1). En la primera etapa tiene lugar la congelación del agua (a-b), la cual juega un papel importante ya que el agua presente en las células del producto debe pasar del estado líquido al sólido (cristalizar). El tamaño del cristal formado durante esta etapa influye sobre el producto final, y a su vez el tamaño del cristal está influenciado por la velocidad de enfriamiento. A mayor velocidad de congelación, menor es el tamaño del cristal y a menor velocidad de enfriamiento mayor es

el tiempo para formar los cristales que serán de mayor tamaño. Según Genin (1995) la congelación rápida genera estructuras amorfas. En la etapa posterior, el producto es llevado a una cámara de vacío y se produce el secado primario (c-d); durante esta etapa los cristales formados durante la congelación se subliman por efecto de la baja presión que se encuentra por debajo de la presión de vapor del hielo. Mediante un cuidadoso uso de la placa de calefacción se aumenta la temperatura del producto eliminando así el hielo por sublimación. En esta etapa se elimina la mayor cantidad de agua, pero el producto mantiene aún entre 15 a 20% del agua aproximadamente retenida fuertemente en la matriz amorfa. En el secado secundario se procede a la eliminación de esta agua adsorbida alcanzándose una humedad entre 2-4 %.

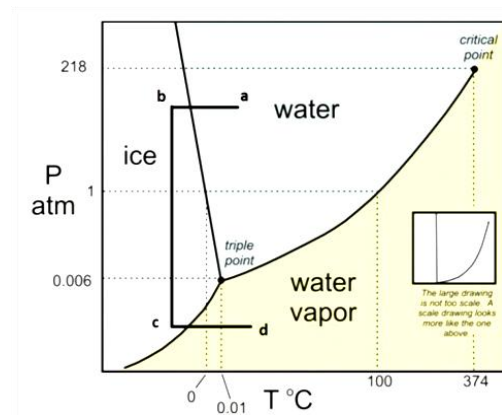


Figura 1.1. Diagrama de fases del agua durante el proceso de liofilización (Fuente: Karelovic, 2012)

El contenido de agua del producto al final del proceso de liofilización influye en su vida útil y en sus atributos de calidad, especialmente las propiedades ópticas y de textura. La liofilización genera una estructura porosa que favorece la posterior rehidratación generando productos de mayor calidad organoléptica con cambios mínimos en el color y en los nutrientes, en comparación con otros procesos de secado (Krokida et al 1998; Krokida et al., 2011). La eliminación del agua durante la liofilización a menudo conduce a la formación de una matriz amorfa, que puede cambiar de un estado vítreo a un estado gomoso y este efecto se denomina transición vítrea. Esta transición se ha vinculado a los cambios en las propiedades físicas de los alimentos, principalmente sus propiedades de difusión y mecánicas. En el estado gomoso los productos crocantes sufren una pérdida de textura, lo cual es inaceptable para el consumidor (Rossi et al., 1997; Martínez-Navarrete et

al., 2004). Por esta razón para mejorar la calidad de los productos liofilizados es necesario utilizar compuestos que favorezcan la formación de una matriz amorfa vítrea; son ejemplos la maltodextrina, trehalosa y también la sacarosa. Estos carbohidratos además favorecen la retención de aromas durante la liofilización. (Chirife y Karel, 1973).

### 1.3. TREHALOSA

La trehalosa ( $\alpha$ -D-glucopiranosil- $\alpha$ -D-glucopiranosido) es un disacárido no reductor formado por dos unidades de glucosa unidas mediante un enlace glicosídico del tipo  $\alpha,\alpha$ -1,1 (Figura 1.2).

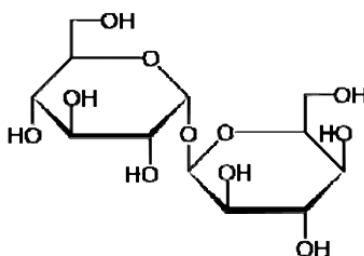


Figura 1.2. Estructura de la Trehalosa

Aunque su estructura química es muy similar a la sacarosa, es más estable a bajos niveles de pH y a altas temperaturas. Además no participa en las reacciones de pardeamiento no enzimático preservando el color natural de los alimentos. Esta extraordinaria estabilidad química que presenta la trehalosa, la hace especialmente interesante para usar como aditivo alimentario (Galmarini et al. 2009).

El poder edulcorante de la trehalosa es el 45% del de la sacarosa. Según un estudio realizado por Galmarini et al., (2009), la trehalosa tiene un Tiempo de Reacción al Gusto (TRG, tiempo mínimo entre la presentación y detección del estímulo) inferior al de la sacarosa en soluciones de igual concentración. Las propiedades físicas y sensoriales de la trehalosa se muestran en la Tabla 1.2

Tabla 1.2. Propiedades físicas y sensoriales de la trehalosa

Punto de fusión	97.0 °C Dihidratado
-----------------	---------------------

	210,5 °C Anhidro
Calor de fusión	57,8 KJ mol <sup>-1</sup> Dihidratado 53,4 KJ mol <sup>-1</sup> Anhidro
Solubilidad	68,9 g/ 100g H <sub>2</sub> O a 20°C
Dulzor relativo	45 % del de la sacarosa

Fuente: (Higashiyama, 2002)

### 1.3.1. PROCESO DE OBTENCIÓN

Su producción a escala industrial comenzó en 1994 bajo patente de la empresa japonesa Hashayibara. Esto disminuyó su costo en relación a la trehalosa anteriormente obtenida por extracción de hongos. El método a escala industrial se basa en una obtención enzimática a partir del almidón.

El proceso desarrollado para alcanzar la producción de trehalosa basado en almidón presenta diferentes etapas: en el primer paso interviene la  $\alpha$ -amilasa generando una hidrólisis y luego es desramificado por la enzima isoamilasa (Figura 1.3). En el segundo paso, la amilosa generada es transformada en trehalosa mediante la intervención por parte de un complejo enzimático constituido por malto-oligosiltrehalosa sintetasa (MTSasa) y la malto-oligosilrehalosa tetrahidrolasa (MTHasa)(Figura 1.5).

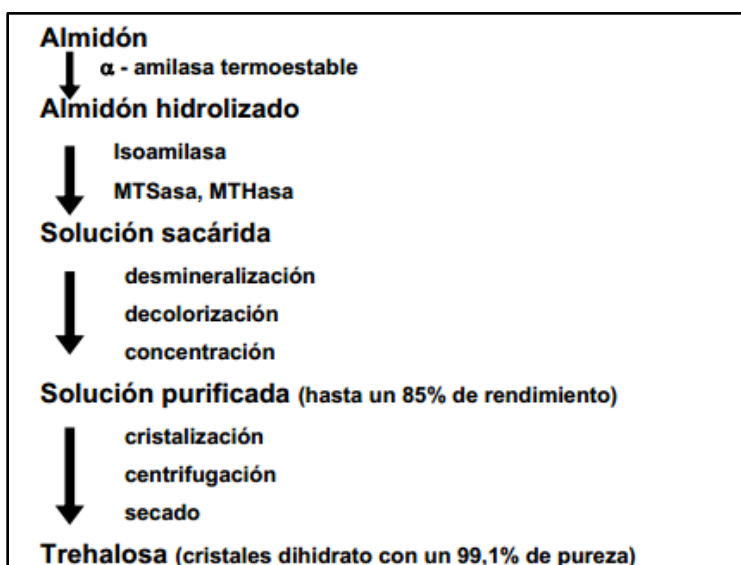


Figura 1.3. Proceso enzimático de obtención de la trehalosa a partir del almidón. Fuente, (M. V. Galmarini, 2009; Higashiyama, 2002).

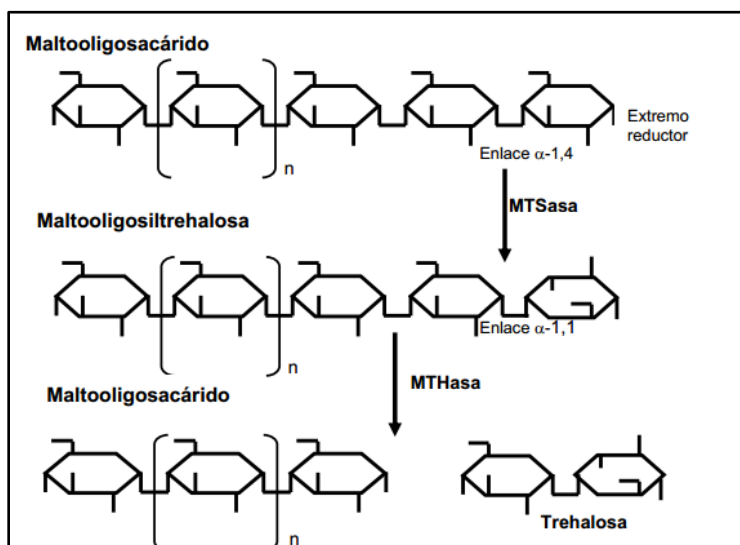


Figura 1.4. Funcionamiento del complejo enzimático (MTSasa y MTHasa) durante la obtención de trehalosa. Fuente, (M. V. Galmarini, 2009; Higashiyama, 2002).

El complejo enzimático produce trehalosa con un rendimiento del 85% (Figura 1.4). Una vez obtenida la trehalosa, la solución se decolora con carbón activado, luego se filtra utilizando tierra de diatomeas y se deioniza por intercambio iónico con resinas, y por último se concentra por evaporación; con este proceso se obtiene trehalosa con un grado de pureza del 99,1% (Galmarini, 2009).

La producción industrial de trehalosa ha permitido su aplicabilidad en la industria farmacéutica y alimentaria, llegando a ser considerado aditivo GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro) en el año 2000 en Estados Unidos y en el 2001 fue aprobado por la Comunidad Europea; desde entonces se utiliza cada vez más como aditivo multifuncional en alimentos. En el año 2004 se aprobó como ingrediente en Brasil y en nuestro país se recomendó su inclusión en el capítulo 10 del Código Alimentario Argentino en agosto del 2005 (Acta Reunión del Consejo Asesor de la Comisión Nacional de Alimentos) (Galmarini, 2009).

## 1.4. SACAROSA

La sacarosa está compuesta por una unidad de  $\alpha$ -D-glucopiranosilo-(1-2)- $\beta$ -D-fructofuranosilo, unidos entre sí por los extremos reductores, (Figura 1.5).

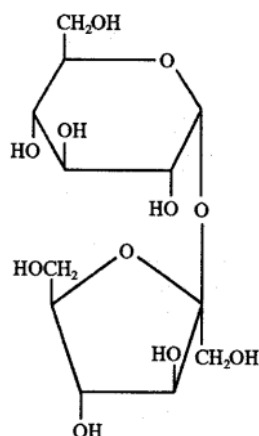


Figura 1.5. Estructura de la sacarosa (Fuente: Fennema, 2000).

La sacarosa se obtiene de dos fuentes principales: la caña de azúcar y la remolacha. Este disacárido ha sido ampliamente reportado en la literatura como un co-adyuvante para la deshidratación de alimentos, especialmente en frutas (Bhandari et al, 1997); siendo ampliamente usado en la DO. Esto se debe a su bajo costo, disponibilidad, el tamaño de su molécula (relacionada a su facilidad de ingreso a la fruta) y su compatibilidad sensorial con el producto final. El uso de la sacarosa también tiene desventajas tales como un dulzor elevado a las concentraciones de uso, la facilidad para hidrolizarse en un medio ácido y su posterior participación en reacciones de Maillard. También debe mencionarse que su  $T_g$  es relativamente baja comparada con la de otros disacáridos como la trehalosa y la lactosa.

## 1.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS LIOFILIZADOS.

Como se mencionó previamente, las propiedades físicas de los alimentos liofilizados juegan un papel importante en su proceso de elaboración y almacenamiento. Para prevenir los cambios físicos ocasionados durante el almacenamiento es importante poder conocer e identificar características como la temperatura de transición vítrea

(mencionada anteriormente en el texto pero que será explicada en detalle más adelante), la absorción de agua del producto, la pérdida del color, pérdida de estructura y las propiedades sensoriales generales del producto.

### 1.5.1. *TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA ( $T_g$ )*

En el estado sólido, a diferencia de los estados líquido y gaseoso, la movilidad de las partículas y moléculas es mínima; y, según su ordenamiento, los sólidos se pueden definir como sólidos cristalinos o amorfos. En los sólidos cristalinos, las fuerzas de atracción son altas, y la estructura es termodinámicamente estable (Figura 1.6 a). Por otro lado, los sólidos amorfos (como es el caso de los alimentos deshidratados), carecen de una disposición tridimensional en sus moléculas, siendo termodinámicamente metaestables (Figura 1.6b).

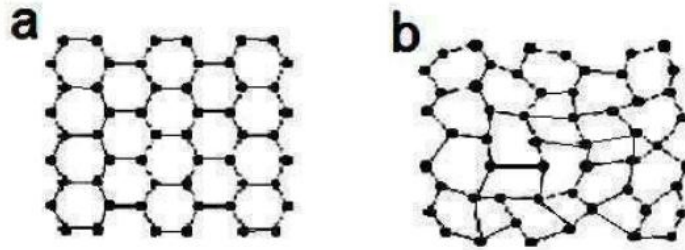


Figura 1.6.a) Disposición de las moléculas en un sólido cristalino. b) Disposición de las moléculas en un sólido amorfo.

A su vez los sólidos amorfos se dividen en vítreos y gomosos. El sólido amorfo vítreo posee una viscosidad muy alta, minimizando la movilidad molecular. Pero al ser una estructura metaestable, la viscosidad puede evolucionar con el tiempo aumentando la movilidad molecular. El sólido amorfo gomoso presenta una viscosidad menor que el vítreo, lo que conduce a una mayor cinética de movimiento molecular, y con el tiempo pueden ocurrir cambios físicos como la cristalización. Por lo tanto, los alimentos deshidratados pueden presentar transiciones de fase durante su elaboración y almacenamiento con el consiguiente cambio en algunas de sus propiedades físicas (Telis & Sobral, 2001).

La forma de obtener un sólido amorfo o cristalino se muestra en la Figura 1.7. Un material amorfo vítreo puede pasar al estado amorfo gomoso dependiendo de la temperatura y de la humedad del producto (Roos y Karel, 1992). Este cambio de fase genera un ablandamiento e incluso colapso de la estructura, debido a que las moléculas adquieren mayor movilidad (Sperling, 1986). Este cambio de fase es una transición de segundo orden y ocurre a una temperatura conocida como la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) (Telis y Sobral, 2001) .

La formación de un sólido cristalino se produce por la evaporación lenta, debido a que las moléculas de soluto pueden reordenarse para formar una estructura cristalina, permitiendo obtener un estado termodinámicamente estable, donde la cinética molecular es despreciable. Por el otro lado, la formación de los sólidos amorfos vítreo es ocasionada por los procesos de deshidratación rápida, donde la estructura experimenta un aumento rápido de la viscosidad evitando la interacción y el ordenamiento molecular, las moléculas no alcanzan el estado de equilibrio y la estructura es termodinámicamente inestable.

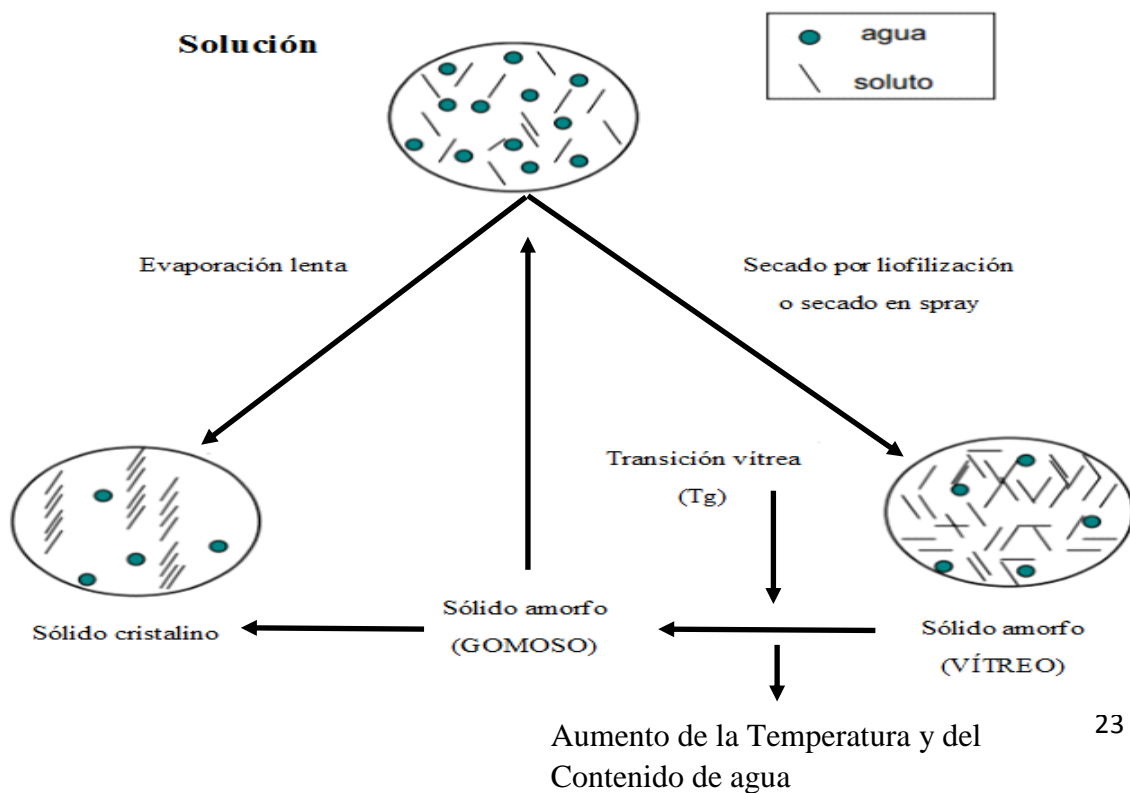




Figura 1.7. Formación de un sólido amorfo vítreo y gomoso a partir de una solución (adaptado de Karmas, 1994)

El cambio de fase se define como un cambio brusco de las propiedades macroscópicas de un sistema, por efecto de la variación de algún parámetro externo como la temperatura o la presión, que genera cambios en las propiedades físicas, como el aumento en las cinéticas de reacciones químicas y enzimáticas. El estado físico es extremadamente sensible a la humedad, la temperatura y al tiempo de almacenamiento.

La temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) puede ser determinada por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) debido a que ciertas propiedades del sistema amorfo cambian en la  $T_g$ . El DSC detecta la transición vítrea basada en el cambio de la capacidad calorífica ( $\Delta c_p$ ) a una determinada temperatura de transición. En la Figura 1.8 se muestra un termograma obtenido por Calorimetría Diferencial de Barrido de un sistema azucarado liofilizado que muestra su transición de fase, con su correspondiente cambio de estado vítreo a gomoso (Roos, Y. 1993).

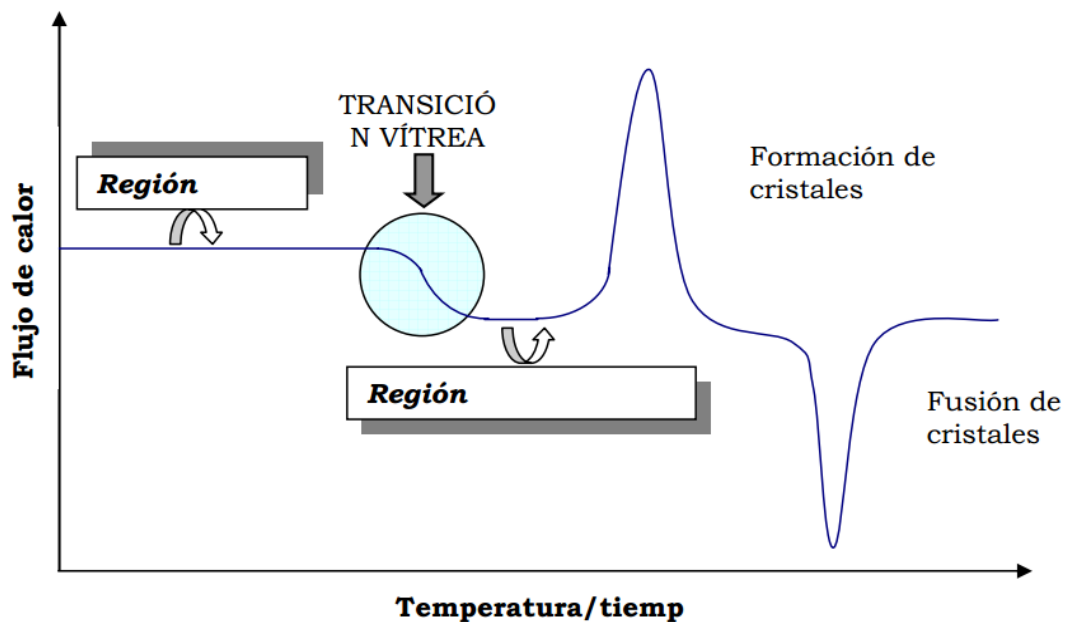


Figura 1.8 Termograma del sistema azucarado liofilizado (adaptado de (Roos, Y. 1993).

El termograma representa el flujo calórico en función de la temperatura o bien el tiempo que la muestra es calentada; la muestra se calienta constantemente en una cápsula sellada. El cambio en las propiedades térmicas de la muestra ocasionada por la transición de fase, se evidencia con un cambio en la línea de base del termograma. La muestra se calienta en forma constante desde una temperatura menor a  $T_g$  hasta alcanzar una temperatura mayor a  $T_g$ . Cuando la temperatura es mayor a la  $T_g$  la muestra presenta un cambio de fase del estado vítreo a estado gomoso (líquido sobre-enfriado). A medida que la temperatura y la movilidad incrementan la viscosidad disminuye, y las moléculas de azúcar pueden reordenarse hasta alcanzar un estado termodinámicamente más estable como lo es la estructura cristalina. En el termograma la cristalización se evidencia con un pico exotérmico, y al incrementar más la temperatura el azúcar funde produciendo un pico endotérmico (Figura 1.9). Es así que un termograma como el descrito, ilustra el efecto de la temperatura sobre el estado físico de un azúcar totalmente amorfo (liofilizado) (Santagapita, 2010; Roos, Y. 1993)

El cambio en la movilidad molecular generado por la transición de fase de estado vítreo a gomoso, es importante para la estabilidad de las propiedades físicas y mecánicas de los alimentos (Roos, 1995). A temperaturas superiores a  $T_g$ , el aspecto del material corresponde al estado gomoso, el cual presenta un ordenamiento estructural diferente al estado vítreo. En el estado gomoso las moléculas presentan mayor movilidad y son más susceptibles a los cambios físicos y mecánicos. Por lo tanto, la  $T_g$  es considerada como un punto crítico o una barrera para ciertos cambios físicos en los sistemas amorfos. Por lo general, los alimentos en estado vítreo son considerados estables desde el punto de vista de la ausencia de cambios físicos perceptibles (en el marco de tiempo de la vida útil del alimento) por lo que el estado vítreo tiene importancia para las características texturales de los alimentos crocantes (Galmarini, 2009; Slade y Levine, 1991) y el apelmazamiento de polvos y el colapso de alimentos deshidratados porosos como los productos liofilizados.

Al sobrepasar la  $T_g$  (por un aumento en la temperatura o la humedad) pueden ocurrir cambios en sus características mecánicas como cambios en la difusión de solutos (Roos et al. 1995). Los cambios mecánicos incluyen el fenómeno de colapso, que es la resultante de un encogimiento de la estructura o en el flujo causado por la disminución de viscosidad, y provoca pegajosidad, apelmazamiento y pérdida de porosidad. Los cambios en la difusión afectan la cinética de cristalización de azúcares amorfos, la liberación de aromas y, posiblemente, las cinéticas de las reacciones. Además es importante notar que, a temperaturas aproximadas al rango de  $T_g$ , un cambio de pocos grados puede provocar en los alimentos de baja humedad una disminución significativa en la rigidez.

En sistemas biológicos el contenido de agua tiene gran interés debido a que es el parámetro más importante que afecta las propiedades térmicas y la movilidad molecular del sistema amorfo. Por este motivo se dice que el agua es un agente plastificante de los sistemas biológicos y biomateriales. Los alimentos de baja humedad pueden presentar cambios como la oxidación de lípidos y el pardeamiento no enzimático. La cinética de reacción de estos cambios está relacionada con el aumento de la movilidad molecular de los reactivos.

En la Figura 1.9 se muestra la dependencia de la  $T_g$  en función del contenido de agua para un sistema de trehalosa. A medida que aumenta el contenido de agua se presenta una disminución de la  $T_g$ . Por lo tanto, si el sistema se almacena a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  y luego se aumenta el contenido de agua, se genera un cambio de fase de estado vítreo a gomoso, aumentando la posibilidad de presentar cristalización del soluto (Roos, Y. 1993).

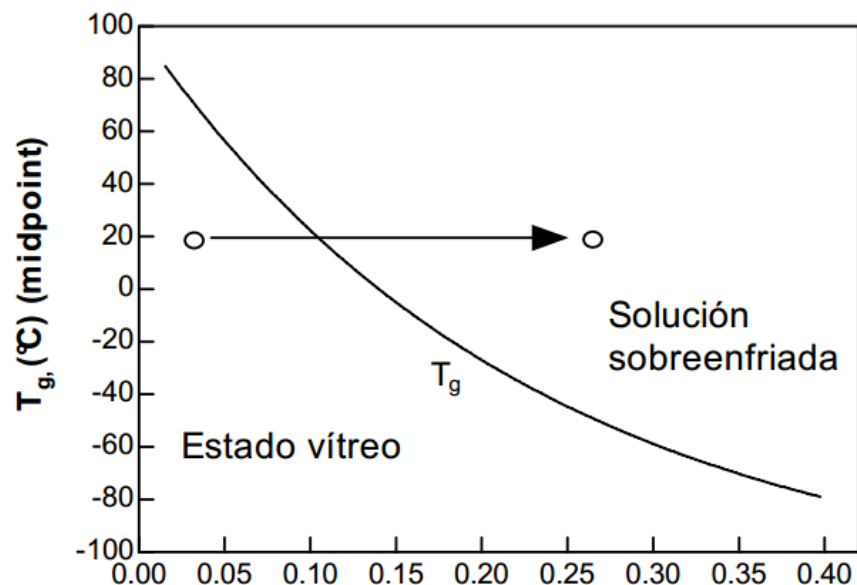


Figura 1.9. Curva de temperatura de transición vítrea en función del contenido de agua para un sistema de trehalosa (Tomado de Cardona et al. 1997).

La alta temperatura de transición vítrea en la trehalosa ha sido objeto de estudio en muchos trabajos en relación a su rol como agente protector de sistemas enzimáticos y microorganismos. Schebor et al., (1997) estudiaron la estabilidad de la invertasa ( $\beta$ -fructofuranosidasa) en sistemas acuosos de trehalosa, maltodextrina y polovinil pirrolidona (PVP), con lo cual, demostraron que la trehalosa juega un papel importante en la protección de los compuestos biológicos. Según Colaco et al., (1994) las biomoléculas frágiles como las enzimas pueden ser deshidratadas *in vitro* en una solución de trehalosa sin generar pérdida de la actividad enzimática durante un periodo de almacenamiento prolongado.

La adición de trehalosa y otros disacáridos ha sido también investigada en la retención de los componentes aromáticos durante los procesos de secado. Komes et al., (2003) investigaron la importancia que presenta la trehalosa en la retención de los compuestos aromáticos en puré de fresas liofilizados.

Por lo tanto, el agregado de hidratos de carbono a matrices biológicas, puede aumentar el valor de  $T_g$  del sistema retrasando cambios físicos como colapso y apelmazamiento que pueden ocurrir durante la elaboración o almacenamiento del producto.

### **1.5.2. ISOTERMAS DE SORCIÓN**

El conocimiento de las características de adsorción de agua y la actividad de agua ( $a_w$ ) es de suma importancia para obtener información sobre la vida útil del producto y para evaluar los riesgos de deterioro por reacciones de pardeamiento (enzimático y no enzimático), oxidación, y crecimiento de microorganismos. La  $a_w$  es definida como la

relación entre la presión de vapor del agua en el sistema (alimento) y la presión de vapor del agua pura a un valor constante de presión y temperatura (Andrade et al, 2011). La actividad de agua, junto con la temperatura y el oxígeno son los factores más importantes en relación a la estabilidad microbiológica de los productos alimenticios; cuanto menor es la actividad de agua mayor será la estabilidad microbiana a temperatura ambiente.

La  $a_w$  está relacionada con el contenido acuoso a través de la isoterma de sorción de agua, y las isotermas varían de acuerdo a la estructura molecular del sistema, por lo tanto la isoterma de un sistema cristalino es diferente a un sistema amorfo tal como se observa en la Figura 1.10

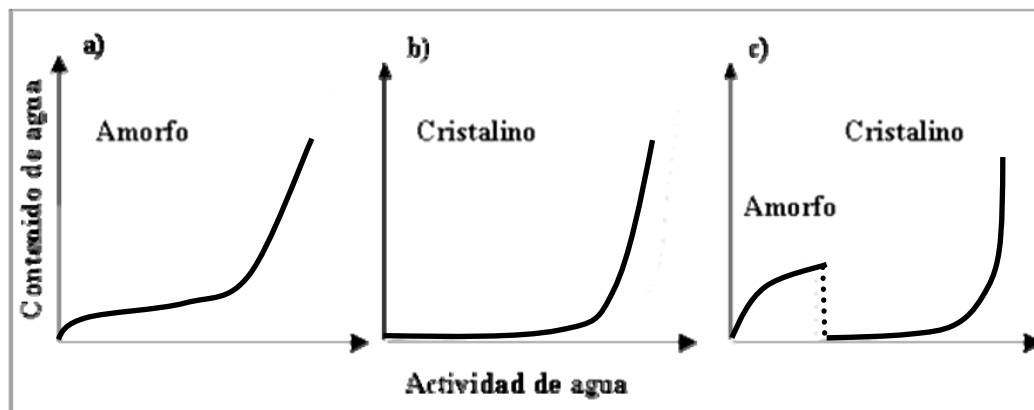


Figura 1.10. Isotermas de sorción de agua para sistemas amorfo, cristalino y a sistemas que cristalizan a medida que aumenta la actividad de agua y el contenido de agua.

A bajas  $a_w$  la sorción de agua es mayor en el sistema amorfo que en el cristalino (ver Figura 1.10). Un sólido cristalino presenta poca adsorción de agua, hasta alcanzar una  $a_w$  determinada, a partir de la cual comienza la disolución de los cristales, con un aumento considerable de la absorción de agua en la matriz. Además existen materiales como los azúcares que a bajas  $a_w$  pueden estar como sólidos amorfos, pero cristalizan al aumentar el contenido de agua.

Uno de los solutos más utilizados para disminuir la  $a_w$  y mejorar la estabilidad de los productos alimenticios es el azúcar de mesa (sacarosa). Este disacárido es muy usado en

la industria alimentaria para la elaboración de mermeladas, confituras, jaleas, jugos y muchos alimentos deshidratados para favorecer la preservación.

El estudio de las isothermas de sorción de agua es importante para el análisis y diseño de los procesos de elaboración y preservación de alimentos (Figura 1.11), así como también para su almacenamiento. Por otro lado, sirve para predecir las reacciones de deterioro (Zhang et al., 1996).

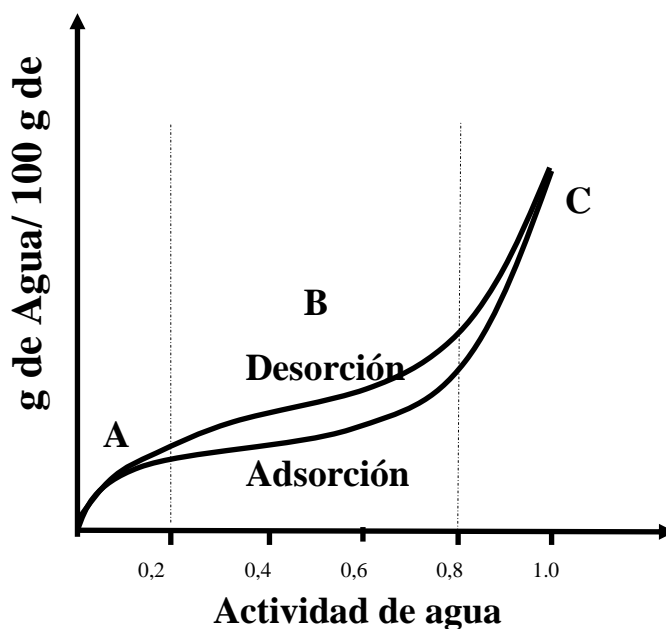


Figura 1.11. Isoterma de sorción de agua típica en alimentos (modificada de Multon and Bizon, 1980).

En la representación gráfica de la isoterma de sorción de agua (Figura 1.11), se observan tres zonas. En la Zona A la  $a_w$  entre 0 y 0.2 representa el agua que se encuentra fuertemente ligada en el alimento, esta forma una capa monomolecularde agua que cubre la totalidad de la superficie del alimento, también llamada “monocapa”. En la Zona B: la  $a_w$ se encuentra entre 0.2 y 0.8, es agua débilmente ligada en forma de multicapa que esta interaccionando con la monocapa por puentes de hidrógeno. Finalmente la Zona C: donde la  $a_w$ es superior a 0.8 hay agua disponible y de gran movilidad que se puede intercambiar

con el agua multicapa denominándose fase masiva y existen dos tipos: agua desligada y agua atrapada (Fennema, 1996).

Cada punto sobre estas curvas corresponde a un estado de equilibrio, ya sea una muestra seca que gana humedad (proceso de adsorción) o para una muestra que pierde humedad (proceso de desorción) en una atmósfera en la cual la humedad relativa permanece constante, y donde se presenta una transferencia de agua al producto (adsorción) o desde el producto a la atmósfera (desorción), hasta alcanzar el estado en equilibrio. Existe una dependencia de las isotermas de sorción con respecto a la temperatura y por lo tanto, con el aumento de la temperatura se presenta una disminución del contenido de humedad cuando la  $a_w$  permanece constante, y la higroscopicidad del producto disminuye generando un cambio descendente en la isoterma de sorción, lo que se puede apreciar con un acercamiento de la isoterma de sorción sobre el eje X (Fennema, 1996).

### **1.5.3. MEDICION DEL COLOR**

Como se ha mencionado anteriormente, la calidad de los productos alimenticios está dada por el color, la textura, el sabor y el aroma. Un cambio degenerativo en algunos de estos atributos influye al momento de la compra, disminuyendo su aceptabilidad.

El cambio del color en las frutas está relacionado con componentes como , carotenoides, antocianinas o por reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático. El pardeamiento en frutas es un problema importante de la industria alimentaria y una de las principales causas de la pérdida de calidad durante el manejo post-cosecha y procesamiento. Cuando se rompe el tejido de las frutas, se presentan una serie de interacciones que ocasionan pérdida de calidad visual con la formación de pigmentos pardos, y que ocasionan cambios indeseables en el sabor y la pérdida de nutrientes debido al pardeamiento enzimático (Luo and Barbosa, 1997 citado por Quevedo et al., 2009). Por lo tanto controlar las reacciones de pardeamiento es fundamental para mantener la calidad organoléptica de los productos de origen vegetal.

El color de un alimento es el resultado de un fenómeno psicofísico complejo, y forma sólo una parte de la percepción total visual generada por el ojo e interpretada por el cerebro. En esta percepción persisten e interactúan tres factores fundamentales, las propiedades espectrales de la fuente de luz que ilumina el objeto, la naturaleza del material observado y del proceso visual humano (MacDougall, 2002).

En los alimentos el factor que más influye es la luz reflejada debido a las características físicas de la superficie de los alimentos, especialmente en alimentos que son deshidratados debido a los cambios físicos ocasionados en la remoción del agua lo que genera gran número de espacios intersticiales y una estructura irregular. De forma general puede afirmarse que la reflexión ocular ocurre en un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la luz incidente y es la responsable principal del brillo del material, mientras que la reflexión difusa ocurre en un ángulo de  $45^\circ$  y es la principal responsable del color. Estas particularidades son importantes al momento de efectuar mediciones porque del ángulo de incidencia de la luz en la muestra y la posición de ésta con respecto al sensor, dependerá el atributo medido (Manresa Gonzalez y Vicente, 2007).

Los principios fundamentales de la colorimetría están determinados por las tres leyes de Grassman, de las cuales, una de las más importantes establece que cualquier color puede ser generado por la suma de tres colores primarios en proporciones convenientes. La medida objetiva del color puede obtenerse mediante el análisis de su espectro visible, por transmisión o reflexión, obtenido mediante un espectrofotómetro.

Un método para medir el color es el desarrollado por CIE (Comission International de I'clairage) en 1931 (CIE, 1993), en el cual el color es indicado mediante tres variables X, Y, Z, conocidas como los valores triestímulo, que representan tres colores primarios imaginarios. Para lograr normalizar este método de medida se define el observador patrón como representativo de un observador de visión normal, y se asigna a cada color un conjunto de tres valores, índices de la contribución de cada uno de los colores primarios.(Farroni, 2011; Gomez, 2010).



Los colores primarios son rojos, verdes y azules. La suma de estos tres colores produce la sensación acromática o luz blanca. A su vez, el color puede ser definido por los siguientes atributos:

Claridad: es el atributo que hace corresponder a cada color una equivalencia con respecto a la escala de grises. Este atributo corresponde a la magnitud psicofísica de luminosidad.

Tono o matiz: le confiere al color una cualidad que se define como rojo, naranja, amarillo, verde, azul, púrpura o cualquier combinación de ellos. El tono es considerado como la longitud de onda dominante.

Saturación: es el atributo que fijado el tono, describe al color por su similitud con un color espectral puro y cuanto más parecido a éste es más saturado. A la cualidad psicológica saturación le corresponde la magnitud psicofísica de pureza.

El espacio CIE es un método de evaluación del color muy sencillo y es excelente para representar mezclas aditivas, pero presenta dificultades para expresar las diferencias de color percibidas. Pero existen otros sistemas de color cuyas coordenadas pueden ser convertidas matemáticamente. El espacio CIELAB desarrollado en 1976 utiliza tres coordenadas para describir el color  $L$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El parámetro  $L$  representa la luminosidad del objeto y su valor varía en un rango de 0 que corresponde al color negro, hasta el valor 100 que indica el color blanco. El parámetro  $a^*$  varía entre los colores verde y rojo, y el  $b^*$  varía del azul al amarillo con valores que van desde -120 a 120 para ambos casos y representan las coordenadas cromáticas de este espacio. Este método de evaluación del color es ampliamente utilizado para medir el color en la industria alimentaria (Buera et al, 1991, Ceballos Peñaloza, 2008; Galmarini et al., 2009; Kopjar et al., 2008; Moraga et al, 2011). El espacio CIELAB ha sido diseñado para ser perceptivamente uniforme, es decir, la distancia euclidiana entre dos colores diferentes corresponde aproximadamente a la diferencia de color percibida por el ojo humano.

A partir de este espacio es posible establecer otras funciones que pueden ser indicativas de determinados atributos del color, como la saturación y el tono.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$h' = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad \text{Ecuación 2.}$$

El atributo del color  $C^*$  indica la cromaticidad o croma métrica y el  $h'$  es el ángulo de tono que presenta la muestra. El  $h'$  representa un ángulo en una rueda de color  $360^\circ$  y puede ser distribuido en cuatro cuadrantes del plano  $a^*b^*$ . Los valores de pueden discriminar de la manera siguiente: rojo-púrpura ( $0^\circ$ ), el amarillo ( $90^\circ$ ), azul-verdoso ( $180^\circ$ ) y azul ( $270^\circ$ ). Por otro lado el valor de croma indica la intensidad o pureza del valor de  $h'$  y toma un valor de cero en el centro y se incrementa de acuerdo a la distancia con respecto al centro (Casim, 2011)

Mediante este sistema se puede calcular la diferencia de color global ( $\Delta E^*_{ab}$ ) entre muestras, y también el índice de pardeamiento (IB) de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Mascan, 2001):

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*_{ab})^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$BI = (100 \cdot (X - 0,31)) / 0,17 \quad \text{Ecuación 4}$$

donde x es :

$$X = (a + 1,75x L) / (5,645x L + a - 3,012) \quad \text{Ecuación 5}$$

Los parámetros cromáticos  $a^*$  y  $b^*$  y el parámetro acromático L se ven afectados significativamente por los diferentes métodos de secado (por aire caliente, microondas, por

vacío). Pero la liofilización combinada con una deshidratación osmótica previa permiten que las frutas mantengan su color sin variaciones significativas (Silva et al. 2013).

#### ***1.5.4. TEXTURA INSTRUMENTAL***

Las propiedades mecánicas de las frutas son importantes para mejorar la calidad de los productos a nivel sensorial y textura instrumental (Pitt. 1992). La mayoría de los métodos descritos para el análisis de la textura instrumental de las propiedades mecánicas de los alimentos, tiene como fundamento la aplicación de la fuerza sobre el alimento y el registro de su resistencia a la deformación (ensayo de penetración). Es una prueba de carácter destructivo y se basa en la aplicación de fuerza sobre la muestra para obtener parámetros texturales deducibles de los gráficos de fuerza vs deformación que se obtiene mediante un equipo universal como el “Instron”.

Los equipos universales denominados “texturómetros” son los instrumentos más utilizados para la realización de los ensayos de compresión y penetración. En este tipo de equipo se comprime el alimento con velocidad de desplazamiento constante dentro de un intervalo continuo y amplio de valores y se registra la resistencia que aquél opone a la deformación impuesta. Todos los equipos incluyen cuatro piezas básicas: una pieza que entra en contacto con el alimento y a través de la cual se aplica la fuerza, un mecanismo que desplaza la pieza anterior en un sentido determinado a una velocidad constante o variable, un elemento sensor capaz de registrar la respuesta del alimento a la fuerza aplicada y un sistema que comunica la señal detectada por el sensor (Sczczesniak, 1973). La interpretación de los registros obtenidos durante el ensayo no es sencilla y es necesario elegir y controlar bien las variables de medida y poder comprender hasta qué punto estas puede influir en las características del registro para poder interpretar correctamente las variaciones ocasionadas durante el ensayo.

El test de penetración se basa en la medición de la fuerza de cizalla máxima requerida para atravesar parcial o completamente una sección del producto con un pistón. Cuando se obtienen valores altos de fuerza, la resistencia del producto hacia la deformación

es mayor. La fuerza máxima de cizalla es un indicador de la firmeza o consistencia del producto, además, de las curvas de penetración se pueden calcular otros parámetros como: el módulo elástico y la deformabilidad(ver Figura 1.12).

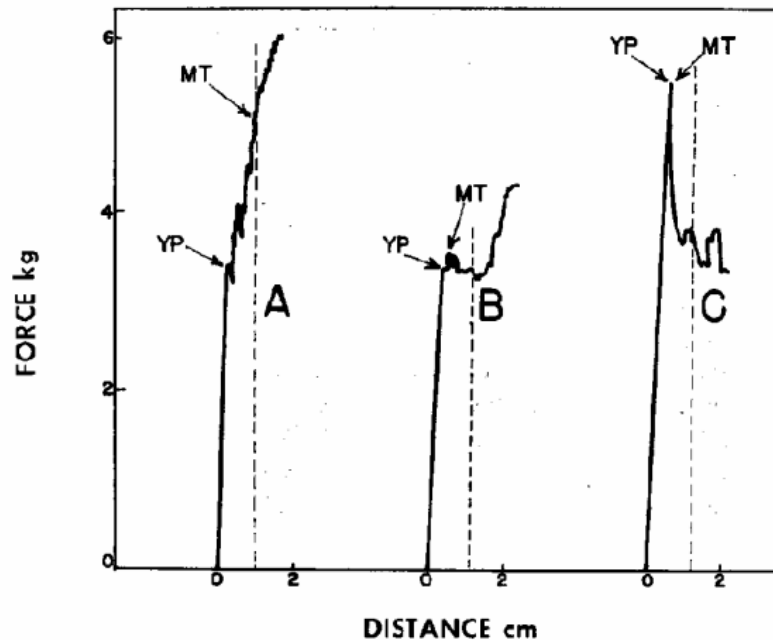


Figura 1.12. curva de penetración con un texturómetro (adaptada de (Montero, Eduardo Castro., Hombre, 2007).

En la Figura 1.12 se muestra el parámetro YP, el cual indica la fractura de la muestra y se evidencia por un cambio abrupto en la pendiente de la curva (A), este comportamiento es característico de frutas y vegetales frescos, aunque el comportamiento del YP en alimentos deshidratados se muestra en la parte C de la Figura 1.12. La curva obtenida puede dar información sobre el tipo de producto analizado (Figura 1.12), por lo tanto, cuando se analizan alimentos duros, la curva presenta un pico abrupto que determina el momento de la ruptura de la muestra, En algunos casos antes del punto de ruptura, se puede presentar un pequeño cambio en la pendiente, correspondiente al punto de “bioyield”, que

está relacionado con una fractura en la microestructura del material asociada con una disrupción inicial de la estructura celular (Steffe, 1996).

El análisis de las propiedades mecánicas del producto mediante la prueba de penetración presenta un montaje específico de la muestra, en la cual el producto es apoyado sobre una base sólida con una perforación central que permita el libre paso del pistón al atravesar la muestra. El diámetro del pistón no debe ser inferior a 2mm y la velocidad del cabezal se determina dependiendo de las características mecánicas del producto. A partir de la curva generada para alimentos duros, en la cual se percibe la ruptura de la estructura mediante un pico definido, se pueden obtener tres variables. La fuerza máxima de ruptura ( $f_R$ ), la deformabilidad en el punto de ruptura ( $d_R$ ) y el módulo de deformabilidad ( $Y$ ), que se obtiene de la pendiente de la curva ascendente hasta el 10% (Figura 1.13).

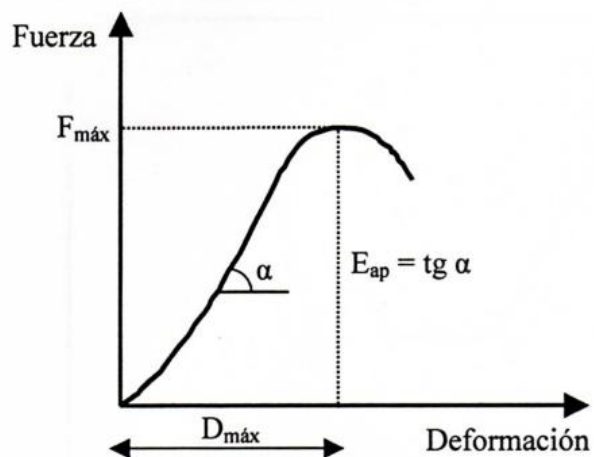


Figura 1.13. Curva típica obtenida de un ensayo fuerza-deformación hasta ruptura.

### 1.5.5. ANALISIS SENSORIAL

El análisis sensorial ha sido definido como un método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar la percepción de diferentes productos a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Stone and Sidel, 2004).

El proceso sensorial comienza con un estímulo físico o químico que actúa sobre los receptores sensoriales generando un estímulo nervioso que se transmite al cerebro, el cual interpreta la sensación y genera como respuesta la percepción sensorial (Figura 1.14) (Schiffman, 1996).

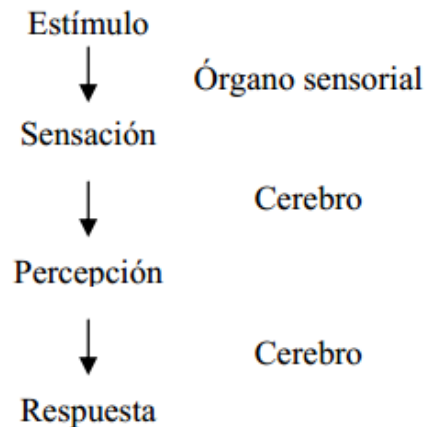


Figura 1.14. Secuencia y órganos involucrados en la percepción sensorial (Tomado de Meilgaard et al., 1999).

En la industria alimentara es muy importante tener una herramienta y un sistema que permita conocer las cualidades sensoriales del producto elaborado. Un panel sensorial, consiste en un grupo de personas entrenadas y prácticamente calibradas como un objeto de medición que pueden describir en forma cuali y/o cuantitativa un alimento a través de sus impresiones sensoriales.

#### ***1.5.5.1. Métodos utilizados en el análisis sensorial***

Existen varios métodos usados en el análisis sensorial que se pueden dividir en:

- 1) Métodos discriminativos: permiten identificar diferencias (o no) entre muestras.
- 2) Métodos descriptivos: permiten la caracterización de muestras en forma cuali y/o cuantitativa.
- 3) Métodos hedónicos: sirven para conocer las preferencias o aceptabilidad de los consumidores por un producto dado.

Dentro de cada uno de los grupos mencionados existen diferentes técnicas que pueden ser empleadas para el análisis de productos alimenticios.

### **Métodos discriminativos**

Una de las técnicas discriminativas más utilizadas es la prueba triangular. En esta técnica cada panelista prueba tres muestras, siendo dos de ellas la misma y una diferente, y el panelista debe indicar cuál es la muestra que percibe diferente (Anzaldúa Morales, 1994). Una variante de este método es el test del triángulo extendido, donde además se pide al panelista que indique por que la muestra elegida es diferente.

Para esta, y los ensayos discriminativos en general, los panelistas no requieren un entrenamiento previo, siendo importante tener un efectivo de alrededor de 20 personas para obtener un análisis estadístico robusto. Los resultados obtenidos se analizan según una distribución binomial, que permite determinar si el resultado es debido al azar o si las muestras analizadas realmente se perciben como diferentes. La ecuación 6 calcula la probabilidad de acierto y desacierto del total de los panelistas. (Decisión correcta de los panelistas)

$$P = \sum_{k=r}^n \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad \text{Ecuación 6}$$

dónde: r número de respuestas correctas, n número total de respuestas,  $p = 1/3$   $q = 2/3$ .

Roessler et al., (1978) publicaron tablas a partir de esta ecuación, en las que se indica el número mínimo de evaluaciones correctas necesarias para decidir si las muestras se perciben como diferentes.

### **Métodos descriptivos**

Un método descriptivo cualitativo muy utilizado es el Quantitative Descriptive Analysis (QDA) (Stone et al., 1974 Stone et al., 1998) permita caracterizar un producto, cuantificando la intensidad percibida de diferentes atributos de textura, sabor y/o aroma; pudiendo ser aplicado a diferentes tipos de productos. (Kilcast, 2013). Esta técnica es usada tanto en el ámbito académico como en la industria. Pero, al trabajar la cuantificación de varios descriptores diferentes sobre escalas, este método requiere mucho entrenamiento de los panelistas lo cual se traduce en tiempo y una alta inversión económica.

Parte del entrenamiento incluye seleccionar y establecer el vocabulario descriptivo del producto. Durante estas sesiones los jueces trabajan de forma grupal, con el fin de establecer un vocabulario apropiado en la evaluación de las muestras. Este trabajo permite también obtener una mejor reproducibilidad en la descripción.

Otro método descriptivo cuantitativo muy utilizado es el Spectrum™ (Stone and Sidel, 1998). Este método también se basa en cuantificar la percepción de diferentes atributos utilizando escalas no estructuradas. Pero, a diferencia del QDA, en este método se utilizan estándares previamente definidos para, de alguna manera, facilitar el uso de la escala y permitir resultados más comparables entre grupos. Este método puede utilizarse para realizar perfiles de textura así como perfiles de sabor, o de varias categorías sensoriales.

A diferencia de los métodos discriminativos, en los métodos descriptivos se trabaja con paneles más pequeños (12 personas aproximadamente) pero altamente entrenadas.



## **OBJETIVOS**

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

El objetivo general del proyecto es obtener un *snack* de banana liofilizada con cualidades sensoriales y físico-químicas mejoradas gracias a un tratamiento osmótico en solución concentrada de trehalosa previo a su liofilización. A los efectos de una comparación se obtendrán también *snacks* liofilizados tratados osmóticamente en solución de sacarosa en vez de trehalosa, antes de liofilizar.

Se espera que el producto a obtener tenga características mejoradas debido a las características diferenciales de la trehalosa respecto a la sacarosa, como son su gran inercia química (no se hidroliza a bajo pH y/o alta temperatura, no da reacción de Maillard), su elevada temperatura de transición vítrea y su dulzor reducido respecto de la sacarosa.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1) Caracterización del proceso de deshidratación osmótica a temperatura ambiente de rodajas de banana sumergidas en solución 45 % de trehalosa ó 45 % de sacarosa midiendo los cambios en actividad de agua ( $a_w$ ) y °Brix de las rodajas de banana antes y después de la ósmosis.

2) Liofilización de las rodajas parcialmente deshidratadas en trehalosa y en sacarosa, como asimismo de rodajas de banana sin tratamiento, y posterior determinación de su  $a_w$ , humedad y temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ).

3) Almacenaje de las muestras liofilizadas envasadas por hasta 45 días a 38 °C para estudiar la estabilidad del color y la textura de forma instrumental; esta última involucra también el estudio de muestras previamente equilibradas a HR 22 % y 33 %.

4) Determinación de la cinética y “equilibrio” de sorción de agua a 36 °C en las muestras liofilizadas tratadas con trehalosa, sacarosa y sin tratamiento, al ser expuestas a diferentes humedades relativas.

5) Se estudiará el perfil de sabor y textura sensorial en muestras recién liofilizadas pre-tratadas con trehalosa, sacarosa y sin tratamiento. Así como también un estudio de preferencia con consumidores.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron bananas provenientes del Ecuador y comercializadas por Pabanana, compradas en un supermercado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina. Sus valores promedio de humedad (%) y °Brix fueron  $74,5 \pm 0,6$  y  $21 \pm 1$  respectivamente. El pH fue de  $4,6 \pm 0,1$ . La trehalosa dihidrato de grado alimenticio fue provista por Ingredion, Argentina. Se utilizó sacarosa de grado alimentario, libre de Gluten (Dos Anclas SA., Argentina). Se emplearon además ácidos cítrico y ascórbico (Química Merck, Argentina).

Para el almacenamiento de las muestras a humedades relativas controladas se usaron las siguientes sales: acetato de potasio ( $KCH_3COO$ ) y cloruro de litio ( $LiCl$ ) de Productos Químicos Biopack, Argentina, cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ), nitrato de magnesio ( $Mg(NO_3)_2$ ) y cloruro de sodio ( $NaCl$ ) de Mallinckrodt (Analytical Reagent, Irlanda) y carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ ) de Riedel-de Haën®, Alemania.

Para el almacenamiento de las muestras se utilizaron bolsas de poliamida polietileno (espesor:  $70 \mu m$ , permeabilidad:  $CO_2$ :  $192 \text{ ml/cm seg Pa}$ ;  $O_2$ :  $64 \text{ ml/cm seg Pa}$ ) fabricadas por EHRLICH, Argentina.

#### **3.1. PREPARACIÓN DE MUESTRA**

##### **3.1.1. PRE-TRATAMIENTO**

Las bananas fueron peladas y cortadas de forma transversal con un corta tomates de acero inoxidable obteniendo rodajas uniformes de  $5 \text{ mm}$  de espesor y un diámetro promedio de  $3 \text{ cm}$  (Figura 3.1). Para evitar el pardeamiento enzimático generado por la PPO, se sumergieron luego en una solución de ácido cítrico ( $0,5\% \text{ p/v}$ ) y ácido ascórbico ( $0,25\% \text{ p/v}$ ) durante 2 minutos (Pizzocaro et al., 1993).

### **3.1.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

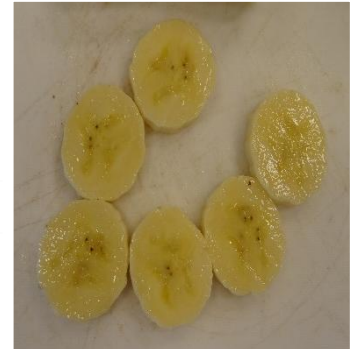
La deshidratación osmótica (DO) con soluciones de azúcares (sacarosa o trehalosa con una relación solvente: soluto de 3:1 en una concentración del 45% p/v) se realizó en medio estanco a presión atmosférica y a temperatura ambiente (20-25 °C) (**Figura 3.1**). La concentración utilizada se basó en el límite de la solubilidad de la trehalosa (Galmarini et, al. 2008). Las soluciones contenían además 0,05% p/v de ácido cítrico y 0,025% p/v de ácido ascórbico para evitar la oxidación generada por la Polifenol oxidasa (PPO) durante la deshidratación (Pizzocaro et al., 1993). Las muestras permanecieron en la solución durante 6 horas, al cabo de las cuales se midió el peso y los °Brix de las diferentes muestras.

### **3.1.3. LIOFILIZACIÓN**

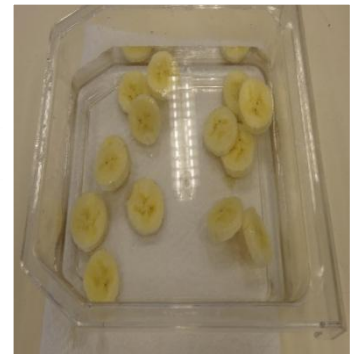
Las muestras de banana con los diferentes pre-tratamientos fueron liofilizadas a temperatura ambiente en un liofilizador FIC LI-I-E300-CRT (Buenos Aires, Argentina) operando con una temperatura de placa de -35°C durante la congelación y un vacío menor a 100 µm Hg, necesitando un tiempo total de 48 horas (**Figura 3.1**). Luego de este proceso se obtuvieron 3 tipos de muestras diferentes:

- 1) Banana liofilizada sin tratamiento osmótico (de aquí en adelante control, CTRL)
- 2) Banana liofilizada con un pre-tratamiento osmótico utilizando sacarosa (SAC)
- 3) Bananas liofilizadas pre-tratadas osmóticamente con trehalosa (TRE).

### Pre-tratamiento



### Deshidratación osmótica



### Proceso de liofilización



Figura 3.1. Procedimiento para la obtención de las muestras de banana

### **3.1.4. ALMACENAMIENTO**

El total de las muestras (CTRL, SAC y TRE) se dividió en tres grupos; cada uno se almacenó en diferentes condiciones dependiendo del experimento a realizar (experimento I, experimento II y experimento III).

Experimento I: para la determinación de temperatura de transición vítrea, textura instrumental, perfil sensorial, prueba hedónica, se buscó que las muestras permanecieran como recién liofilizadas. Para esto se las empacó en bolsas de poliamida polietileno y se almacenaron en el freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$  (Figura 3.1).

Experimento II: para determinar el cambio de color a lo largo del tiempo se realizó un estudio de vida útil acelerado. Las muestras envasadas en poliamida polietileno se almacenaron en estufa a temperatura controlada de  $38^{\circ}\text{C}$  (Modelo SLDB, SANJOR. Argentina).

Experimento III: para analizar los cambios en textura del producto en relación a la humedad relativa y para la realización de las isotermas de sorción, las muestras se almacenaron a temperatura controlada con diferentes humedades relativas.

### **3.2.DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

Para caracterizar la materia prima y las muestras liofilizadas se determinó su humedad gravimétricamente por secado en un horno de convección a  $90^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. En todos los casos las muestras se cortaron en pequeños pedazos para favorecer la pérdida de agua, se colocaron en pesa filtros y se midió el peso inicial y el peso luego de las 24 horas (peso final). Los valores obtenidos se expresaron en gramos de agua/ gramos de masa seca ( $\text{g H}_2\text{O}/ \text{g ms}$ ).

Las mediciones se realizaron por triplicado y se informa el promedio de los datos.

### ***3.3.DETERMINACIÓN DEL PH***

Las muestras fueron trituradas y homogeneizadas para determinar el pH por potenciometría utilizando un electrodo de membrana de vidrio (Instruments HANNA, USA) calibrado con soluciones buffer de pH 4,0 y 7,0.

Las mediciones se realizaron por triplicado informando el promedio.

### ***3.4.MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL AGUA ( $a_w$ )***

La actividad de agua se determinó mediante un higrómetro de punto de rocío Aqualab Series 3B (Decagon Devices, Pullman, USA). El equipo fue calibrado con soluciones salinas saturadas dentro del rango de  $a_w$  de interés para este trabajo (Favetto et al., 1983).

Se midió la  $a_w$  de la materia prima así como de las diferentes muestras liofilizadas a la salida del liofilizador (trituradas) y en distintas condiciones de almacenamiento, con un error de  $\pm 0.004 a_w$ .

### ***3.5.MEDICIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES ( $^{\circ}Bx$ )***

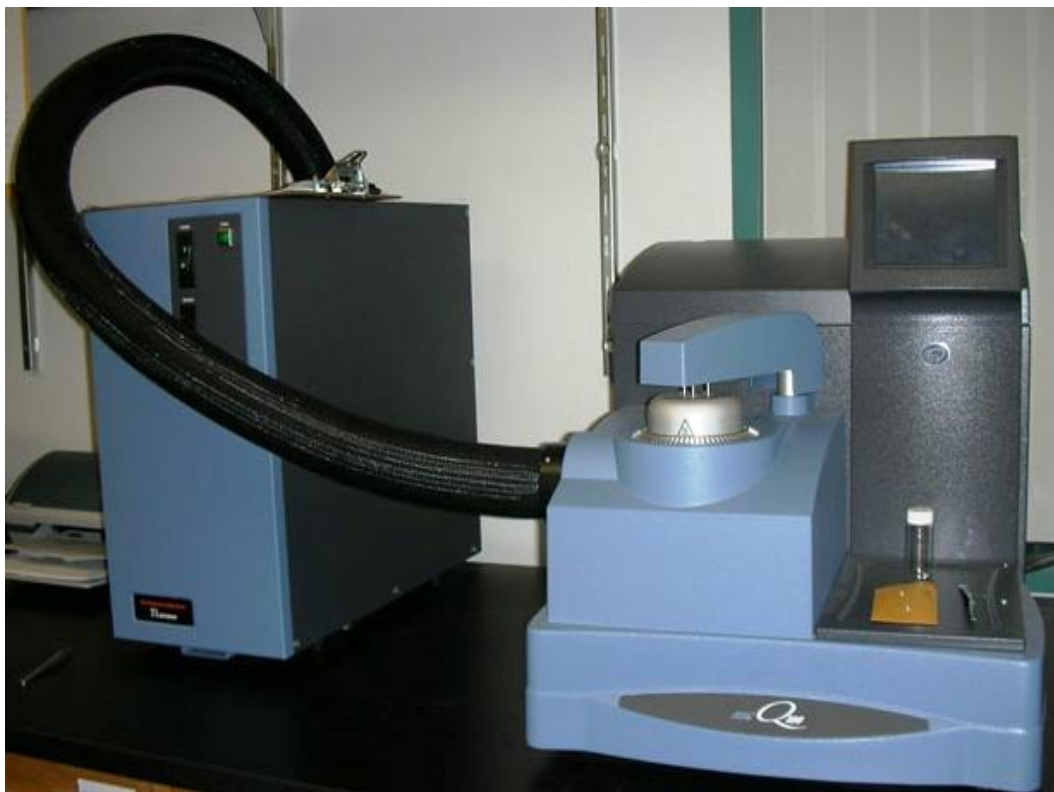
La medición de  $^{\circ}Bx$  se utilizó para caracterizar la materia prima y para seguir la evolución del tratamiento osmótico. Para determinar los  $^{\circ}Bx$  se utilizó un refractómetro manual (Modelo N-2 y Modelo I N-3E, Japón). Las muestras se trituraron antes de la medición. El análisis de las muestras se realizó por triplicado y se informan los valores promedio con su respectivo desvío estándar.

### ***3.6.DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA POR CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)***

La temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de las muestras liofilizadas (CTRL, SAC y TRE) fue determinada por calorimetría diferencial de barrido (DSC) utilizando el método



modular. El equipo utilizado fue TA Instruments DSC-Q100 (Figura 3.2) y los termogramas se analizaron con el programa TA Universal Analysis. Se utilizó un rango de temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  hasta  $60^{\circ}\text{C}$  con un flujo de calor de  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Las muestras fueron equilibradas a  $-30^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos antes de la realización del ensayo.



**Figura 3.2.** Equipo de calorimetría diferencial de barrido (DSC) del Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), La Plata, Argentina.

### ***3.7.ISOTERMAS DE SORCIÓN***

Las isotermas se realizaron a una temperatura de  $36^{\circ}\text{C}$  por un período de 90-100 días. Se determinó el peso y la humedad inicial de las muestras. Las muestras se molieron en un molinillo eléctrico y luego se colocaron en pesafiltros almacenándose por triplicado en desecadores con diferentes soluciones salinas saturadas generando ambientes con  $a_w$  de 0,113; 0,227; 0,332; 0,428; 0,753 y 0,932 (Tabla 2.1).

Se controló el peso de la muestra cada 3 días hasta llegar a peso constante. Una vez alcanzado el equilibrio de las muestras, se determinó el contenido de humedad final, por secado en estufa a 90 °C por 24 horas.

**Tabla 3.1.** Actividades de agua ( $a_w$ ) de sales en soluciones saturadas a 36°C.

Sal	Actividad de agua ( $a_w$ )
Cloruro de litio* (LiCl)	0,113
Acetato de potasio <sup>a</sup> (KCH <sub>3</sub> COO)	0,227
Cloruro de magnesio* (MgCl <sub>2</sub> )	0,332
Carbonato de potasio <sup>a</sup> (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0,428
Cloruro de sodio* (NaCl)	0,753
Nitrato de magnesio <sup>a</sup> (Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	0,932

Greenspan (1976). <sup>a</sup> Mediciones corroboradas en el presente trabajo.

### **3.8.MEDICIÓN DEL COLOR**

La medición se realizó con un espectrocolorímetro (MINOLTA CM-700d/600d, USA) con iluminante D65 y ángulo de observación de 2° obteniendo los valores cromáticos L, a\* y b\*.

La medición del color se realizó sobre las muestras de CTRL, SAC y TRE almacenadas como grupo II (Ver sección 3.2.4.) a 38 °C (condiciones extremas de almacenamiento). Se tomaron muestras a tiempo cero, 15, 30 y 45 días de almacenamiento. Cada medición, se realizó sobre 0,5g de muestra triturada. Todas las medidas fueron realizadas por triplicado con 20 réplicas para un total de 60 mediciones en cada sistema, reportando el promedio de los datos.

A partir de las variables cromáticas L, a\* y b\* se calcularon diferentes funciones de color. Como la diferencia de color global ( $\Delta E$ ), el índice de pardeamiento (IB), el valor croma (C) y el ángulo de tono (h) usando las siguientes ecuaciones:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*_{ab})^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Ecuación 3.1

Las diferencias del color fueron calculadas en relación con los valores obtenidos para las muestras del sistema CTRL.

$$BI = (100 * (X - 0,31)) / 0,17$$

Ecuación 3.2

donde

$$X = (a + 1,75 * L) / (5,645 * L + a - 3,012 * b)$$

Ecuación 3.3.

El índice de pardeamiento IB se calcula a partir de la ecuación propuesta por Chavez y Avasca (2006);

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Ecuación 3.4

$$h = \arctg(b^*/a^*)$$

Ecuación 3.5.

La diferencia de color global indica la magnitud del cambio de color luego del Tratamiento. El valor de h\* representa un ángulo en una rueda de color de 360° y puede ser distribuido en cuatro cuadrantes del plano a\*b\*. Los valores se definen según: rojo\*púrpura (0°), amarillo (90°), azul\*verdoso (180°) y azul (270°). El valor de croma (C) representa la intensidad o pureza del valor de h\* y toma un valor de cero en el centro y se incrementa de acuerdo a la distancia con respecto al centro.

El análisis de las variables cromáticas se realizó mediante análisis de la varianza (MANOVA) realizando la prueba de comparaciones múltiples entre las medias multivariadas de las muestras analizadas, mediante la prueba de Hotelling basada en la corrección por Bonferroni con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Antes de analizar las variables cromáticas de los diferentes sistemas mediante el MANOVA (CTRL, SAC y TRE) se comprobó la homogeneidad de las matrices de varianza (Prueba de Homocedasticidad) y la distribución normal (prueba de Shapiro-Wilks modificada) de los datos. Como complemento al MANOVA se aplicó el AFD a partir del cual se obtienen funciones discriminantes como resultado de combinaciones lineales entre las variables L, a\* y b\*. Previo al análisis discriminante (AFD) se determinó la correlación entre las variables por medio de la matriz de correlación parcial de Pearson (basado en la asociación lineal entre dos variables), y mediante el coeficiente de correlación de Spearman (es la correlación de Pearson pero basado en rangos). Para esto se utilizó el software estadístico InfoStat (versión estudiantil 2013).

### ***3.10. MEDICIÓN DE TEXTURA***

El comportamiento mecánico de las muestras fue determinado por el ensayo de penetración en el texturómetro universal INSTRON (modelo 1101, USA) (Figura 3.3). Las determinaciones se hicieron con una velocidad del cabezal de penetración de 60mm/min, diámetro de la punta 4,8mm y un rango de carga de 50 -5000 N a temperatura ambiente (20 °C). Las muestras fueron colocadas siempre en forma horizontal y centradas con respecto al orificio del plato que permite atravesar la muestra por completo sin interrumpir el proceso de penetración. Se realizaron 30 mediciones para cada sistema analizado.

Las propiedades mecánicas se evaluaron en relación a dos parámetros: tiempo de almacenamiento y actividad de agua. Para evaluar la influencia del tiempo de almacenamiento las muestras se colocaron en estufa a 38 °C envasadas en bolsas de poliamida polietileno manteniendo la  $a_w$  obtenida al final del proceso de liofilización. Los tiempos de evaluación fueron a los días 15 y 30. Para estudiar el cambio en la textura de las muestras en relación a la  $a_w$ , las muestras fueron equilibradas a 22 y 33% de humedad

relativa utilizando acetato de potasio y cloruro de magnesio respectivamente. Las mediciones se realizaron una vez que las muestras alcanzaron la humedad relativa de equilibrio



**Figura 3.3.** Texturómetro Universal Instron. Provisto por la Universidad de Buenos Aires (UBA), Departamento de industrias.

Un modelo de los datos obtenibles para la textura de las muestras se presenta en la Figura 3.4 donde en la representación de la fuerza en función de la deformación se obtiene la máxima fuerza de ruptura ( $f_r$ ) y deformación de ruptura ( $d_r$ ) para la muestra. La deformación de la muestra puede ser determinada como la distancia que recorre el pistón antes de generar una deformación (ruptura de la estructura). Los datos se obtienen gracias al software Microcal Origin 6.0 (Microcal Software Inc., EEUU).

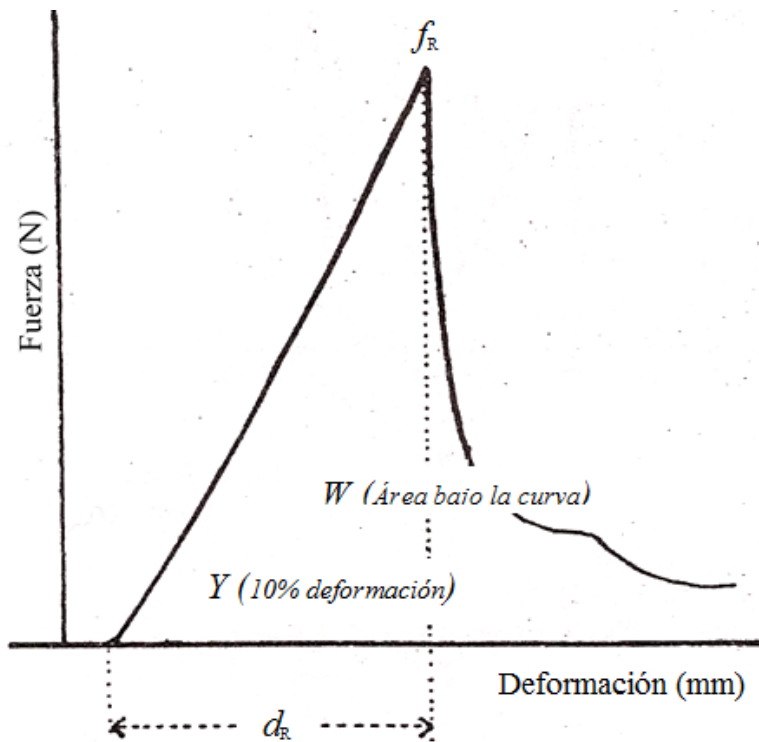


Figura 3.4. Determinación de los parámetros mecánicos Modulo de Young y Área bajo la curva a partir de la curva característica de Fuerza en función de la Deformación (distancia mm).

Para determinar el módulo de Young ( $Y$  en la Figura 3.4) en N/mm se realizó una regresión lineal en la parte inicial de la curva de la fuerza ( $f$ ) medida en newton, en función de la deformación ( $d$ ) medida en milímetros, hasta el 10% de la deformación del experimento, utilizando el programa Microsoft Office Excel 2003, (Microsoft Corp., USA) obteniendo un valor de  $R^2 = 0.999$  para todos los sistemas (**ecuación 3.1**).

$$y = \frac{f}{d} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

donde  $y$  es el módulo de Young,  $f$  es la fuerza (N) y  $d$  la deformación (mm) recorrida por la punta.

Además se determinó el trabajo ( $W$ ), o la energía mecánica necesaria para alcanzar el punto de ruptura del material. Se realizó mediante el cálculo del área bajo la curva de  $f$  en función de la  $d$  desde el origen hasta el punto de ruptura de la muestra (Figura 3,3, **ecuación 3.2**). Las unidades se expresaron en Joules, para obtener este parámetro se utilizó el software Microcal Origin 6.0 (Microcal Software Inc., EEUU).

$$w = \int_{f_r}^{d_r} f d(dr) \quad \text{Ecuación 3.7}$$

donde  $W$  es energía mecánica,  $d_r$  distancia del punto de ruptura y  $f_r$  es la fuerza máxima de ruptura.

Las propiedades mecánicas de las muestras se analizaron mediante el test análisis de la varianza multivariado (MANOVA) con la prueba de comparaciones múltiples entre las medias multivariadas de diferentes sistemas mediante la prueba de Hotelling basada en la corrección por Bonferroni con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Previo a estos estudios se determinaron los valores atípicos obtenidos por medio de la distancia de Mahalanobis ( $D^2$ ) ( $P \leq 0,001$ ) desarrollado en el software SPSS (versión Statistics 17.0) (Leon et al., 2005).

Como complemento al MANOVA se aplicó un análisis discriminante (AFD) a partir del cual se obtienen funciones como resultado de combinaciones lineales de las variables originales involucradas.

Antes de analizar las propiedades mecánicas de los diferentes sistemas (CTRL, SAC y TRE) se comprobó la homogeneidad de las matrices de varianza (Prueba de Homocedasticidad) y la distribución normal (prueba de Shapiro-Wilks modificada) de los datos. Para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad se transformaron algunas variables aplicándole el logaritmo en base 10, de esta manera los datos cumplían los supuestos del MANOVA.

La covariación entre las variables de respuesta fue determinada por la matriz de correlación parcial de Pearson que mide la asociación lineal entre dos variables, y mediante el coeficiente de correlación de Spearman, que es la correlación de Pearson pero es basado en rangos. Para esto se utilizó el software estadístico InfoStat (versión estudiantil 2013).

### **3.11. ANÁLISIS SENSORIAL**

#### **3.11.1. ENSAYO DISCRIMINATIVO**

Se realizó un test triangular extendido (Meilgaard et al., 1999) para conocer si las muestras SAC y TRE se percibían como diferentes y a que se debía dicha diferencia. Se evaluaron solamente estas dos muestras ya que se buscaba saber si el azúcar utilizado en el DO cambiaba la percepción sensorial.

Se utilizó un panel sensorial compuesto por 20 personas (19 mujeres y un hombre), con un rango de edad entre 19 a 31 años; todos estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Católica Argentina (UCA). Fueron seleccionados de acuerdo a su disponibilidad, no aversión por el producto, ausencia de alergias e interés en el tema de trabajo.

Cada asesor recibía las muestras según uno de los órdenes posibles (AAB, ABA, BAA, BAB, BBA y ABB) que fueron equilibrados a lo largo del panel. Las muestras se encontraban codificadas con números aleatorios de tres cifras para evitar el sesgo.

Los panelistas evaluaron las muestras por duplicado en una sesión, obteniéndose un total de 40 respuestas que fueron analizadas por medio de la distribución binomial. Las justificaciones dadas por los panelistas ayudaron a identificar los descriptores que se utilizaran en el perfil descriptivo. Se tuvieron en cuenta solo las justificaciones dadas en las respuestas correctas, y se eliminaron los descriptores hedónicos tales como me gusta el color amarillo. La planilla de evaluación se encuentra en la sección de ANEXOS.



Las evaluaciones se realizaron en el laboratorio de análisis sensorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Católica Argentina (UCA), el cual cuenta con cabinas individuales siguiendo la norma ISO 8589:1988.

### **3.11.2. ENSAYO DESCRIPTIVO**

Aquellos jueces que tuvieron una mejor reproducibilidad en la prueba triangular fueron seleccionados para formar parte del panel descriptivo, el cual quedó conformado por 12 personas (11 mujeres y un hombre).

Se realizó una primera sesión de entrenamiento enfocada a definir los descriptores y referencias (basadas en el método Spectrum Intensity Scales, ASTM, 1992), y a familiarizarse con el uso de las escalas (escalas no estructuradas de 15 cm). La lista final de descriptores, así como sus definiciones y estándares, se presentan en la **Tabla 3.2**.

La evaluación de las muestras (CTRL, SAC y TRE) se realizó en quintuplicado a lo largo de 5 sesiones de 45 minutos de duración. Las muestras se presentaron de forma monádica secuencial, codificadas con números de tres dígitos elegidos al azar y las evaluaciones fueron realizados en cabinas individuales a temperatura ambiente con luz artificial (6500K). Los panelistas contaban con agua mineral para enjuagarse la boca. Los dos primeros perfiles fueron considerados parte del entrenamiento, mientras que los últimos tres perfiles fueron utilizados para determinar la caracterización de las muestras. Las planillas de evaluación entregada a los panelistas se encuentran en la sección de ANEXOS.


Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) por descriptor según el modelo:

$$Y = \text{Producto} + \text{Sesión} + \text{Panelista} + \text{Producto} * \text{Sesión} + \text{Panelista} * \text{Sesión} + \text{Producto} * \text{Panelista} + \epsilon$$

donde *Producto* y *Sesión* se consideraron factores fijos y *Panelista* aleatorio.

Se utilizó el software R versión 2.15.2 (R Core Team 2012).

Tabla 3.2. Definición de los descriptores y referencias utilizados. A) Atributos del color, B) Atributos de aroma y sabor, y C) Atributos de textura.

Descriptor	Definición	Forma de evaluación	Referencia y su ubicación en la escala
<b><i>Atributos del color</i></b>			
Intensidad del color amarillo		Observación	 1 cm                      8 cm                      13.5 cm
Brillo	Intensidad de la luminosidad sobre la superficie de la muestra	Observación	
<b><i>Atributos de Aroma y sabor</i></b>			
Olor a banana	Aroma típico de banana.	Olfateo de la muestra	11,7 cm = Rodaja de banana fresca
Sabor a banana	Sabor típico de la banana	En boca, luego de la masticación	11.7 cm = Rodaja de banana fresca
Dulzor	Gusto básico asociado a una solución de sacarosa.	En boca, luego de la masticación	9 cm = Solución de sacarosa 60 g/L 15 cm = Solución de sacarosa 100g/L
<b><i>Atributos de Textura</i></b>			
Rugosidad	Rugosidad en la superficie de la muestra.	Mediante el tacto, con el dedo índice.	8 cm = Papa frita 14.5 cm = Galleta extrudada
Dureza medida con los dedos	Fuerza requerida para fracturar la muestra en dos partes.	Evaluar con los dedos la fuerza requerida para fracturar la muestra.	6 cm = Aceituna 11 cm = Zanahoria

Crocancia	Sonido producido en la boca durante el proceso de masticación	Evaluación auditiva,sonido producido durante la primera mordida.	5.5 cm = Galletas 12,7 cm = copos de cereal azucarado (Zucaritas)
Adhesividad	Adhesividad al tocar la superficie de la muestra	Mediante el tacto, índice de adhesividad al dedo.	1 cm = Tomate 14 cm = Caramelo
Dureza medida con los dientes	Fuerza necesaria para fracturar la muestra con los incisivos.	Evaluación con los incisivos en la primer mordida.	6 cm = Aceituna 11 cm = Zanahoria
Cohesividad de la masa	Evaluar el grado de adhesión de la muestra a sí misma, no a la superficie de los dientes, durante el proceso de masticación	En boca durante la masticación.	2cm = Queso parmesano 6cm = Pan 13 cm = Caramelo suave

### 3.11.3. PRUEBA HEDÓNICA

Para analizar las preferencias se realizó una prueba hedónica en la que participaron 70 personas con un rango de edades entre 18 y 60 años. La selección de los consumidores se basó en su consumo de frutas frescas y en su conocimiento de productos liofilizados.

Cada consumidor recibió al comienzo de la sesión de degustación, una muestra de manzana liofilizada, con el objetivo de familiarizarlos con las frutas liofilizadas. Luego recibieron los dos tipos de banana liofilizadas con previo tratamiento de DO, SAC y TRE. La presentación se realizó de forma monádica secuencial, asegurando un balance en el orden de presentación para poder evaluar un posible impacto de esta variable en las diferencias de preferencia.

Se realizaron 4 preguntas como parte del test:

- 1) Cuanto te gustó la muestra?,
- 2) Cuanto te gustó el dulzor de la muestra?,
- 3) Cuanto te gustó el sabor a banana?,
- 4) Cuanto te gustó la textura?.

Los consumidores respondían utilizando una escala hedónica estructurada de 9 puntos, siendo 1= No me gusta nada y 9= me gusta mucho.

También se indagó acerca de la intención de compra, utilizando una escala estructurada de 5 puntos.

En todas las pruebas sensoriales las muestras utilizadas fueron muestras almacenadas a  $-18^{\circ}\text{C}$  para mantener las propiedades similares a las que se tienen al terminar el proceso de liofilización. Todas las evaluaciones se llevaron a cabo en las cabinas de análisis sensorial bajo condiciones de temperatura y luz controladas. La planilla de evaluación se encuentra en la sección de ANEXOS.

Los resultados fueron analizados por medio del siguiente modelo de ANOVA:

$$Y = \text{Producto} + \text{Orden} + \text{Panelista} + \text{interacciones de segundo orden} + \varepsilon$$

Donde Producto y Orden (de presentación) eran factores fijos y Consumidor un factor aleatorio.

# **RESULTADOS**

## 4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA BANANA UTILIZADA ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN.

Latabla 4.1 muestra los resultados obtenidos en la caracterización de la banana fresca, la banana deshidratada osmóticamente (DO) y la banana liofilizada con y sin DO con Sacarosa (SAC) o trehalosa (TRE).

Tabla 4.1. Características fisicoquímicas de la banana fresca y luego de los diferentes tratamientos de secado. Actividad de agua ( $a_w$ ) y grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) antes y después del secado osmótico y de la liofilización.

	Secado Osmótico				Liofilización
	Actividad de agua ( $a_w$ )		$^{\circ}\text{Bx}$		Actividad de agua ( $a_w$ ) después de la liofilización
Muestra	Inicial	Final	Inicial	Final	
CTRL	0,974±0,003	-	21 ± 1	-	0,117 ± 0,006
SAC	0,978±0,002	0,966±0,003	21 ± 1	28 ± 1	0,118 ± 0,003
TRE	0,974±0,001	0,965±0,003	21 ± 2	27 ± 2	0,098 ± 0,002

El procedimiento de deshidratación osmótica (DO) generó un aumento en los sólidos totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) debido a la pérdida de agua del producto y al intercambio de solutos durante la DO con soluciones hipertónicas de sacarosa o trehalosa, lo cual implica un flujo simultáneo en contracorriente de agua y azúcares (Nieto et al. 2013; Giangiacomo et al, 1987; Ponting, 1973). El carbohidrato seleccionado como agente osmótico y la concentración de la solución utilizada influye en la difusión del soluto en el tejido de la muestra (Lewicki, 2004). En este caso las muestras de SAC presentaron un aumento en 7  $^{\circ}\text{Brix}$ , obteniendo un valor final de 28 ± 1, y por otro lado, el sistema TRE incrementó los sólidos en 6  $^{\circ}\text{Brix}$  logrando un valor final de 27 ± 2 (Tabla 4.1). Indicando que no existen diferencias entre los disacáridos utilizados en la reducción y el incremento de sólidos totales en la banana. Esto se debe a que ambos disacáridos poseen la misma capacidad para reducir la actividad de agua (Galmarini et al., 2008) y tienen el mismo peso molecular.

En la Tabla 4.1 se evidencia que las muestras TRE obtuvieron un valor ligeramente menor de  $a_w$  ( $0,098 \pm 0,002$ ) en comparación con las muestras CTRL y SAC ( $0,117 \pm 0,002$  y  $0,118 \pm 0,003$  respectivamente). Esta pequeña variación podría atribuirse a que, como se verá más adelante, la muestra TRE tiene una mayor temperatura de Transición Vítrea lo cual puede facilitar la liofilización.

#### 4.2. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA ( $T_g$ )

Para la obtención de la temperatura de transición vítrea de la banana CTRL se toma el resultado obtenido por Moraga et al., (2011) donde se observa el efecto de la humedad en la  $T_g$  de banana y manzana liofilizadas. (Figura 4.1)

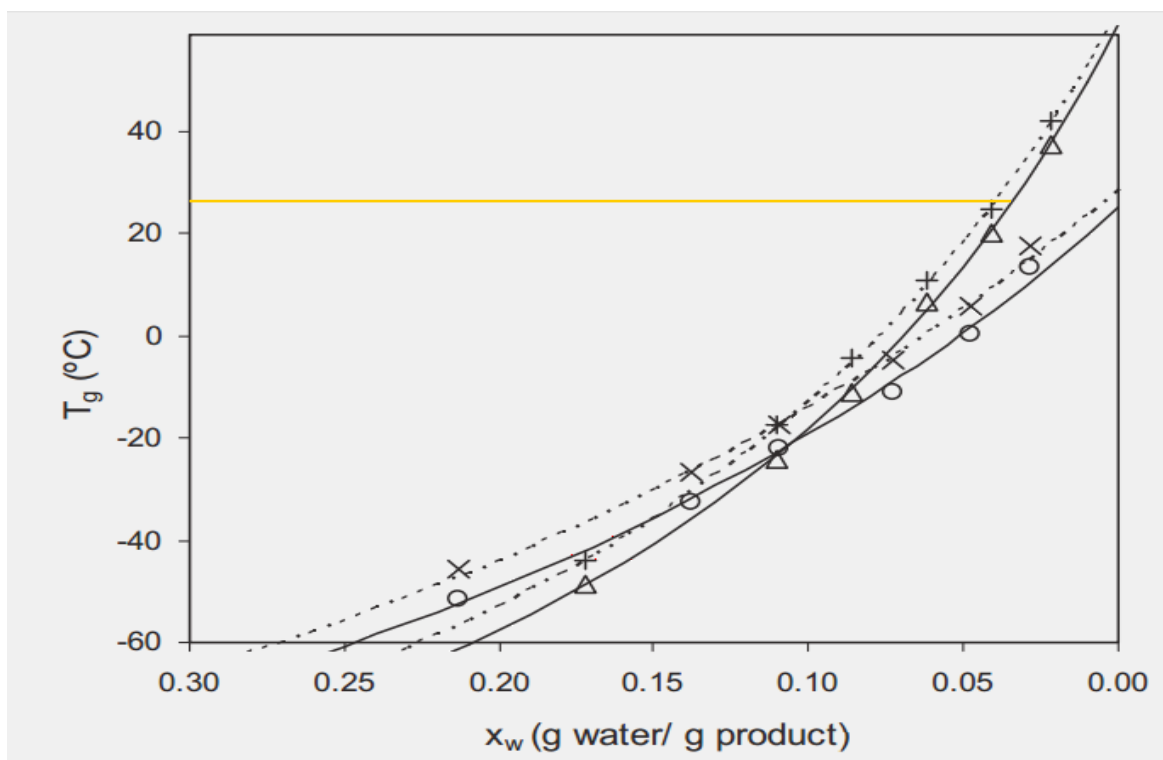


Figura 4.1. Temperatura de transición vítrea en el punto medio ( $T_{gm}$ ) y punto final ( $T_{gf}$ ), en relación con el contenido de agua de dos muestras analizadas, puntos experimentales (valor promedio) que son modeladas con el modelo de Gordon y Taylor: Para un modelo de manzana (-o-  $T_{gm}$  y -x-  $T_{gf}$ ) y el modelo de banana ( $T_{gm}$  - $\Delta$ -) y ( $T_{gf}$  -+-). Moraga et al 2011.

Las bananas liofilizadas tratadas previamente con sacarosa y trehalosa, la humedad de equilibrio que alcanzaron las muestras fue: para el sistema SAC 4,1% base secoy TRE3,2% base seca. Se graficó el flujo de calor reversible (en lugar de flujo de calor) porque las transiciones vítreas fueron poco definidas. De esta manera se obtuvo un cambio en la pendiente de la curva que permitió identificar correctamente la  $T_g$ . En la Tabla 4.2 se comparan los valores de  $T_g$  para las muestras CTRL, SAC y TRE; el valor para la muestra CTRL se obtuvo de la investigación realizada por (Moraga et al., 2011) que se muestra en la Figura 4.1.

**Tabla 4.2.** Valores de  $T_g$  y humedad de banana liofilizada con y sin tratamiento osmótico.

Muestra	$T_g$ (°C)	Humedad (base seca %)
CTRL	28,0*	3,5
SAC	38,8	4,1
TRE	64,3	3,2

\*Moraga et al 2011.

Podemos ver que la incorporación de sacarosa y trehalosa durante el proceso de secado osmótico incrementa sensiblemente la  $T_g$  de la banana liofilizada. La banana contiene diferentes tipos de carbohidratos en su estructura. El 12% de su composición está dada por azúcares de las cuales glucosa y fructosa representan el 82%. Estos monosacáridos tienen valores de  $T_g$  notablemente más bajos que la trehalosa pero no tanto que la sacarosa (ver Tabla 4.2.1.). Por esta razón la  $T_g$  del sistema CTRL presentó menor diferencia con el sistema SAC (ver Tabla 4.2). La  $T_g$  del sistema TRE fue significativamente mayor que el sistema SAC, y esto puede constituir una ventaja tecnológica, como se verá más adelante.

Tabla 4.2.1. Valores de transición vítrea para carbohidratos amorfos en estado anhidro.

Carbohidratos	$T_g$ (°C)
Trehalosa	115
Sacarosa	62
Glucosa	37
Fructosa	5

Datos obtenidos de: Simperler et al., 2006; Crowe et al., 1996; Roos, 1993.



### 4.3. ANÁLISIS DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN

La cinética de sorción de agua durante el tiempo evaluado (84 días) para los sistemas CTRL, SAC y TRE almacenados a 36°C a diferentes humedades relativas 11%, 23%, 33% y 43% se muestra en las Figuras 4.3.A1, A2, A3 y A4.

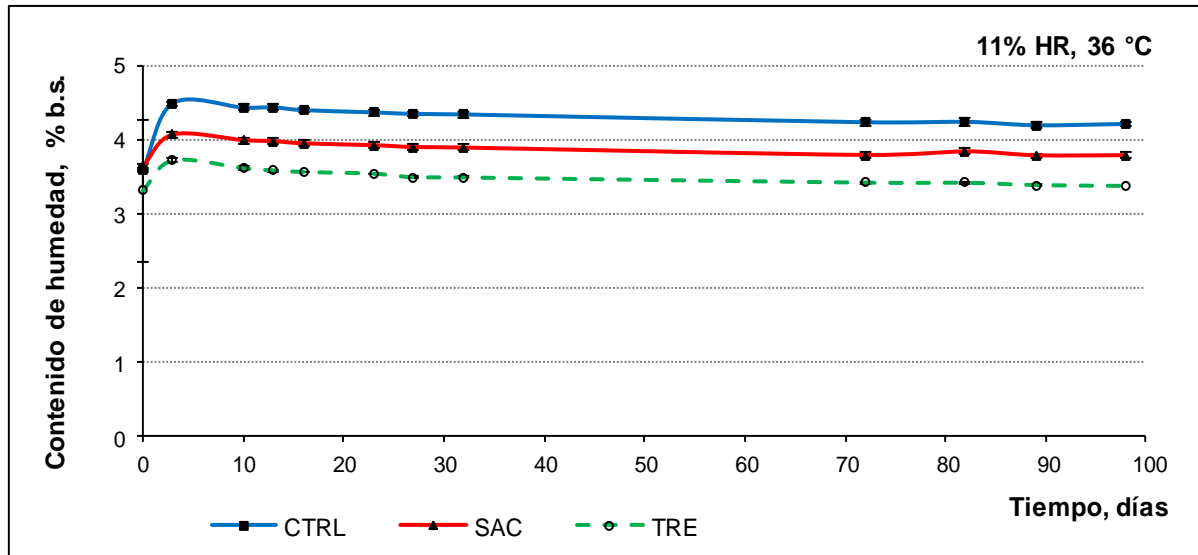


Figura A1.

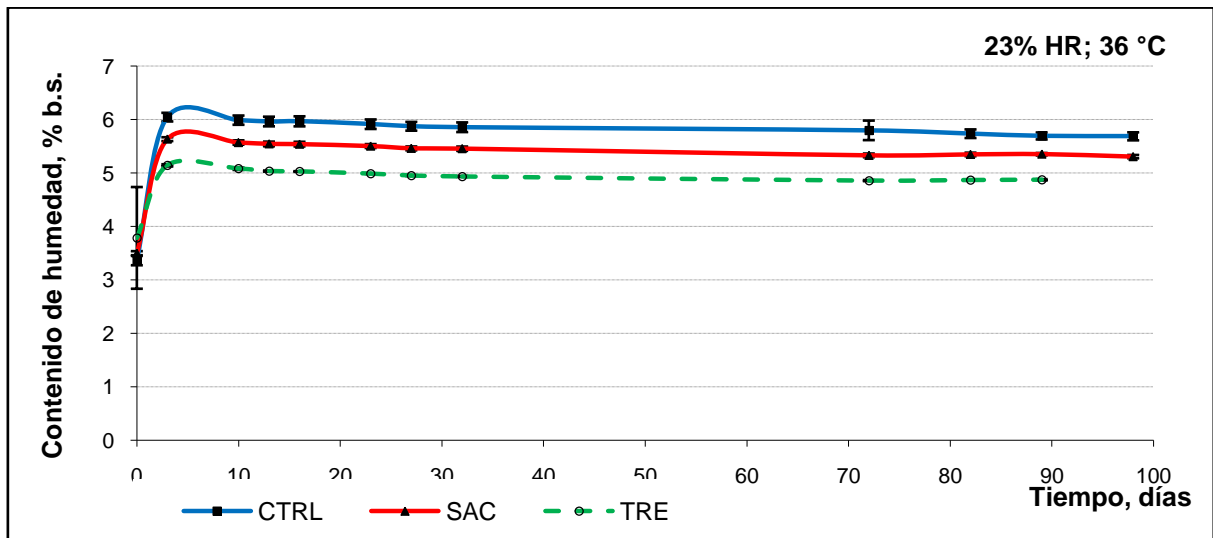


Figura A2.

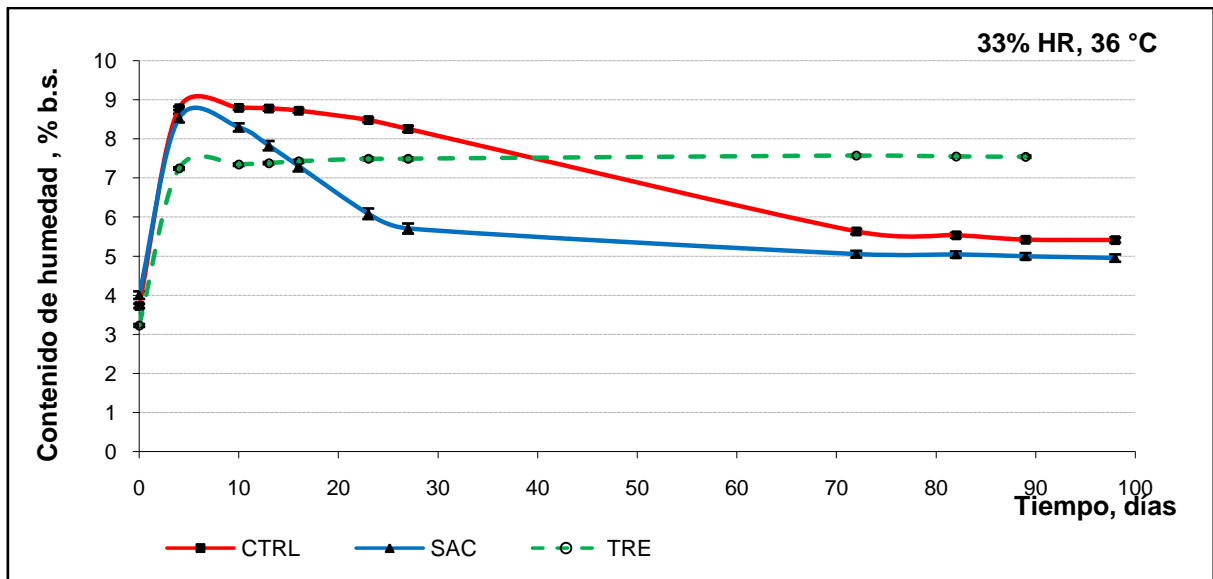
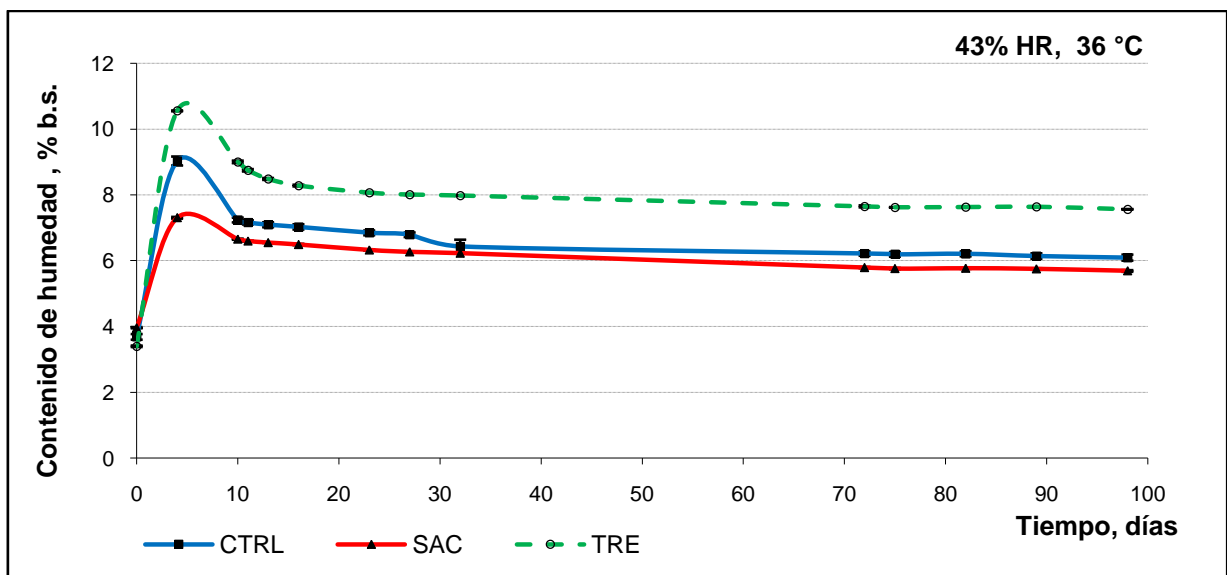


Figura A3.



Figuras 4.3.A.1 – A4. Cinética de adsorción de agua a 36°C de banana liofilizada sin pre-tratamiento y pre-tratadas osmóticamente usando sacarosa y trehalosa en diferentes humedades relativas 11%, 23%, 33% y 43%..

La ganancia de humedad con el tiempo a diferentes humedades relativas % y 36° se muestra en las figuras 4.3.A.1 – A4. Para una HR% de 11 y 22 (Figuras 4.3 A1 y A2) el comportamiento de sorción de los tres sistemas es similar: luego de alcanzar un máximo, la humedad permanecía casi constante por un período cercano a los 100 días, observándose únicamente muy pequeños cambios con el tiempo. Es de destacar que pocos investigadores han estudiado el comportamiento de sorción de agua en frutas por un período tan largo como el hecho en este trabajo. Falade y Awoyele (2005) estudiaron

las isothermas de adsorción de bananas frescas y secadas en estufa (usando el mismo método estático gravimétrico), pero sólo siguieron la cinética hasta 14-16 días; luego de ese tiempo consideraban que el equilibrio se había alcanzado. Tsami et al., (1990) también usaron un período corto (15 días) para determinar las isothermas de sorción de agua de diferentes frutas.

A 33% (Figura 4.3 A3) las muestras CTRL y SAC alcanzaron una humedad máxima (alrededor de 9% en base seca) pero luego se observó una pérdida progresiva de humedad para sacarosa a partir del día 12 y del día 30 para el CTRL.

El comportamiento de la banana CTRL y SAC a 11, 22 y 33% de HR tiene una fuerte similitud con el trabajo clásico de Makower y Dye (1956) sobre la cristalización de sacarosa y glucosa amorfas expuestas a HR entre 4,6 y 3,6% a 25°C. Ellos encontraron que a bajas HR se podía obtener una humedad de equilibrio sin que hubiera cristalización por un período de casi tres años. Sin embargo, a HR más altas se producía recristalización de azúcar con la consecuente pérdida de humedad.

Más recientemente, Harnkarnsujarit y Charoenrein (2011) estudiaron la cristalización de azúcar en polvo liofilizado de mango almacenado a varias temperaturas y también reportaron que la cristalización de azúcar estaba asociada a la pérdida del agua previamente absorbida en el experimento de sorción. Estos autores utilizaron difracción de rayos-X y *scanning electron microscopy*(SEM) para confirmar la cristalización. Sus resultados también mostraron que al aumentar la humedad relativa se producía una mayor cristalización de azúcar. La pérdida de agua absorbida debido a la cristalización de azúcar durante el almacenaje a determinados valores de HR ha sido también reportado por otros polvos alimenticios como leche en polvo (Jouppila and Roos, 1994).

Como también se mostró en las Figuras 4.3.A.1-A2, la banana tratada con trehalosa no mostró ninguna pérdida de humedad en el período estudiado (100 días); y esto se puede explicar porque en este sistema la presencia de trehalosa determina una mayor  $T_g$  en comparación con la sacarosa.

La Figura 4.3.A.3 también muestra que la velocidad de pérdida de humedad era más alta en la muestra SAC que en CTRL. Esto se puede atribuir a la diferente composición de estos sistemas. En la banana madura, la glucosa y fructosa constituyen alrededor del 80% de los azúcares y el resto es sacarosa. En la muestra SAC, la cantidad

relativa de sacarosa aumenta debido al baño osmótico mientras que la glucosa y la fructosa se pierden por extracción en el mismo baño.

La Figura 4.3.A.4 indica que todas las muestras pierden humedad expuestas al 43% sugiriendo cristalización de azúcares. Iglesias et al., (1997) mostraron que una HR del 43% proporciona a la trehalosa la humedad necesaria para cristalizar formando el dihidrato (trehalosa.2H<sub>2</sub>O). Al pasar la trehalosa al estado cristalino desprotege a los otros azúcares, los cuales cristalizan con el tiempo.

Utilizando los valores de humedad de *quasi equilibrium* (80-85 días) se construyeron las isotermas de adsorción de los tres sistemas una temperatura de 36°C, las cuales se muestran en la siguiente figura 4.4.

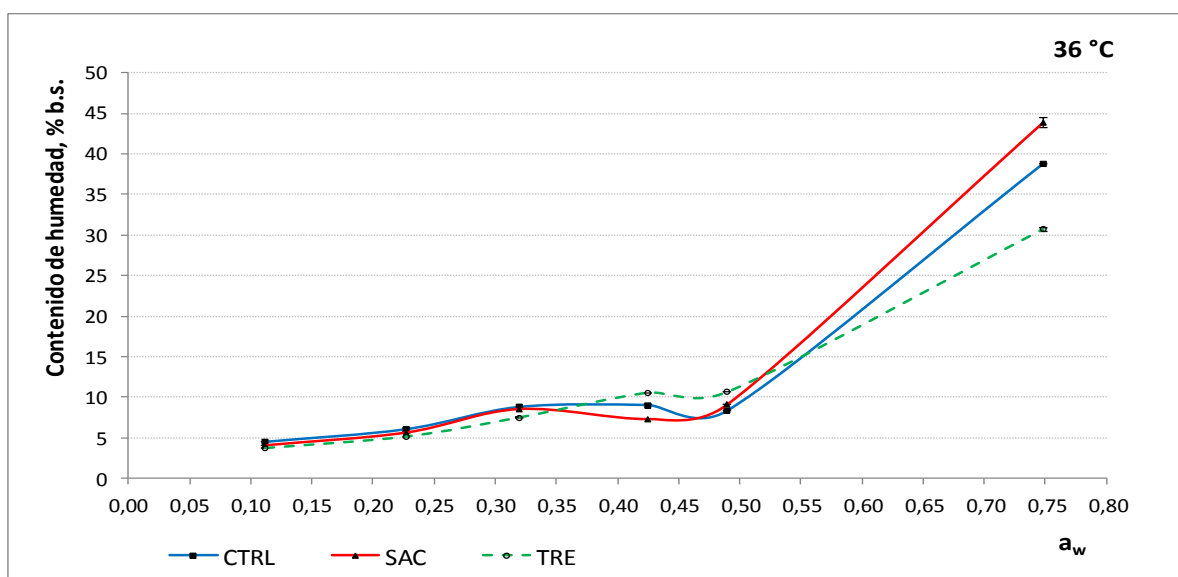


Figura 4.4. Isotherma de adsorción de las muestras liofilizadas a 36 °C.

Las isotermas obtenidas son del tipo III, correspondiente a productos que tiene componentes cristalinos solubles en agua como azúcares (Rahman, 1995). Los sistemas cristalinos presentan baja absorción de agua, cuando se exponen a actividades de agua relativamente bajas, pero a partir de 0,30 a<sub>w</sub> presentan un incremento en el contenido de humedad, característico de la disolución de los cristales de azúcares. La interpretación de estas isotermas es muy complicado ya que son sistemas que no están en verdadero equilibrio y que presentan transiciones de fase amorfo-cristalino.

#### 4. ESTABILIDAD DEL COLOR DURANTE EL ALMACENAMIENTO A 38°C

La Figura 4.5.A-B-C muestra la variación de la luminosidad (L), coloración rojiza (a\*) y coloración amarilla (b\*) de las muestras CTRL, SAC y TRE envasadas en pouch de poliamida-poliétileno (90 micrones de espesor) almacenadas hasta 45 días a 38°C. Se reportan los valores promedio para cada sistema con su correspondiente desviación estándar.

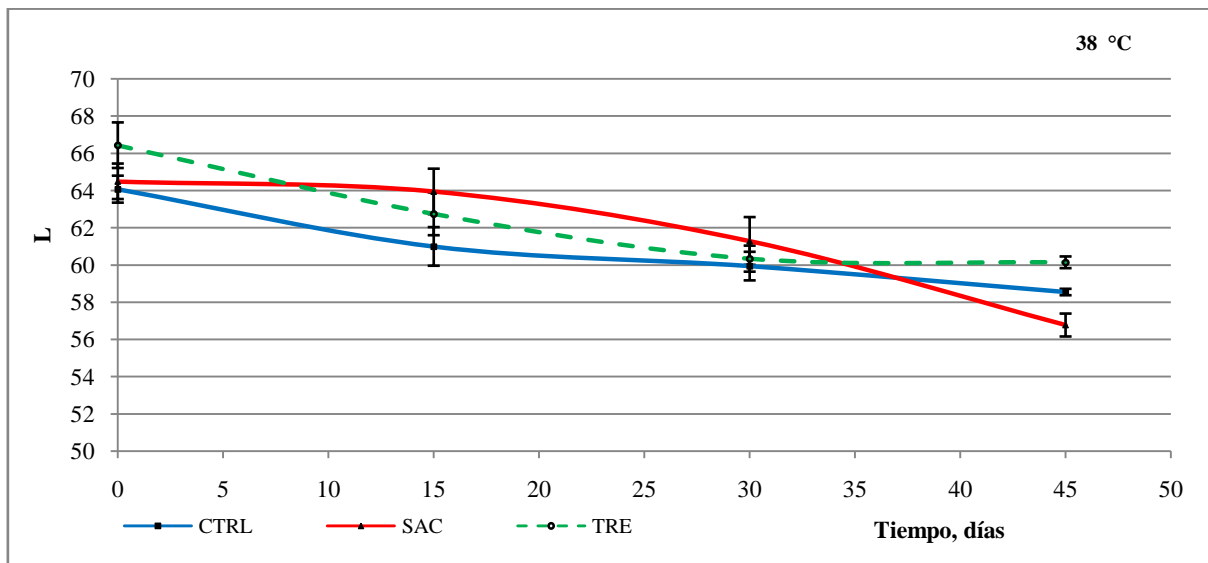


Figura 4.5.A) Evolución de la luminosidad (L) durante el almacenamiento a 38°C en los sistemas de muestras CTRL (—■—), SAC (—▲—) y TRE (—●—).

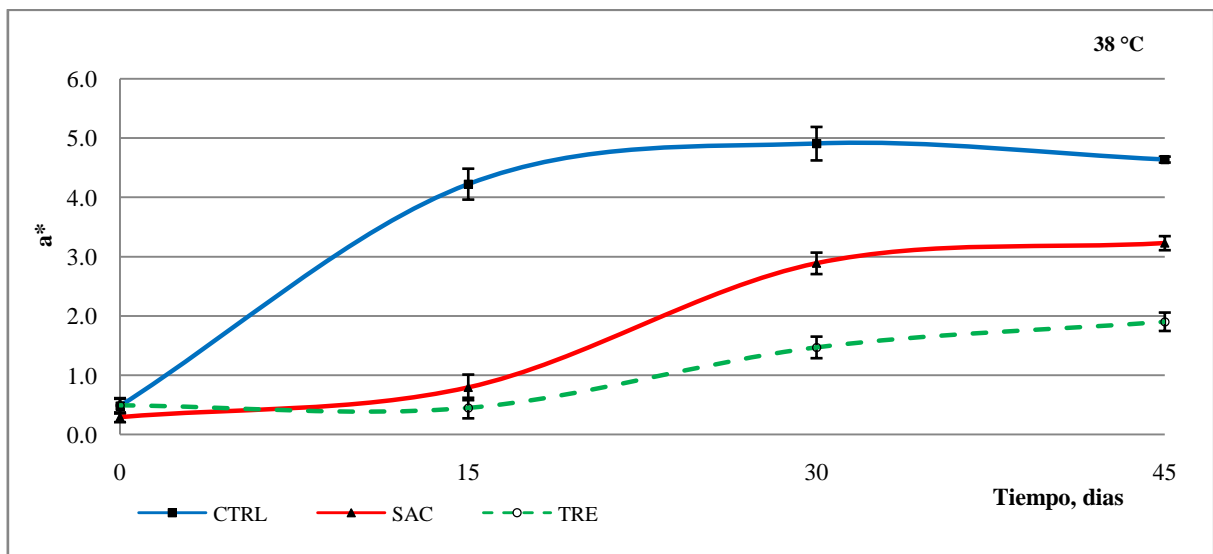


Figura 4.5. B) evolución en la coloración rojiza (a\*) durante el almacenamiento a 38°C en los sistemas de muestras CTRL (—■—), SAC (—▲—) y TRE (—●—).

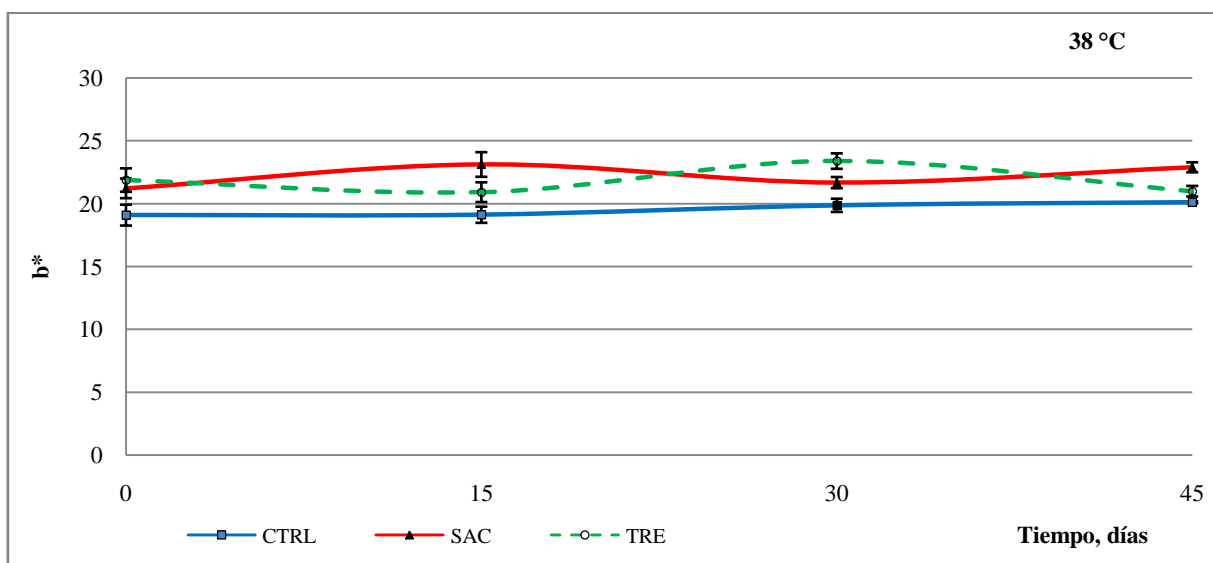


Figura 4.5. C) evolución del color amarillo ( $b^*$ ) durante el almacenamiento a  $38^\circ\text{C}$  en los sistemas de muestras CTRL (—■—), SAC (—▲—) y TRE (—○—).

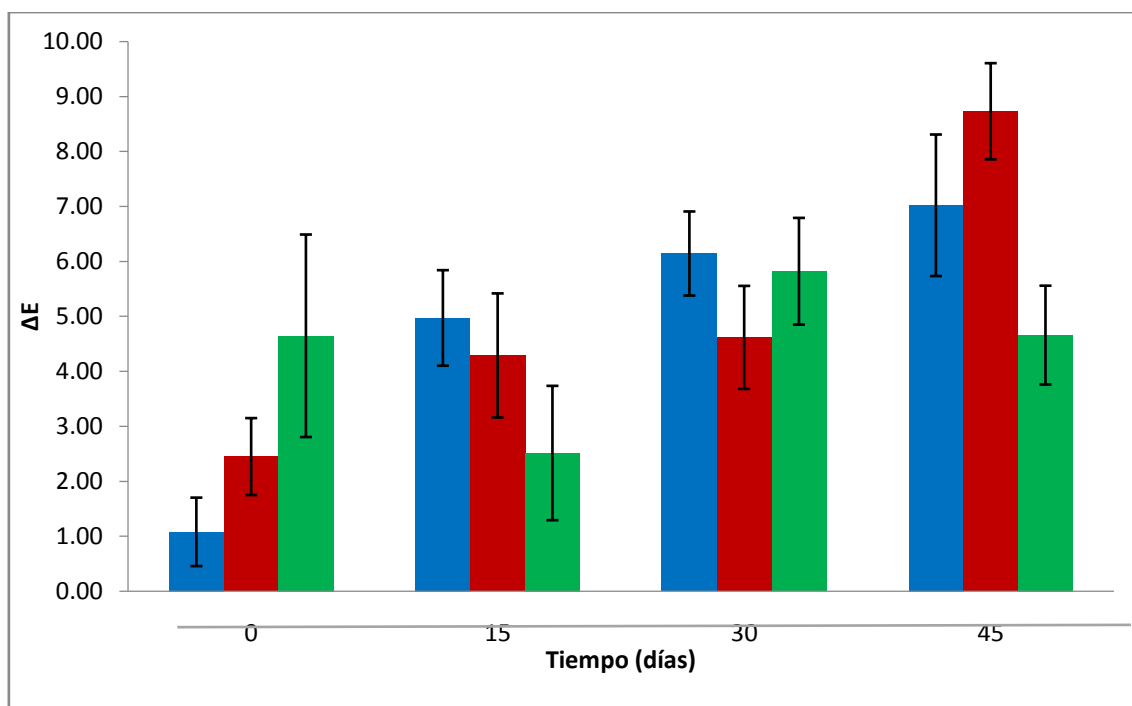
En todas las muestras hubo una ligera disminución del parámetro L (Figura 4.5.A) a lo largo del almacenaje observándose que las muestras se oscurecieron, probablemente debido a reacciones de pardeamiento. El sistema SAC fue el más afectado mientras que TRE fue el que tuvo el menor cambio al final del almacenaje (45 días). Es así que las muestras con trehalosa fueron las más claras tanto al comienzo del almacenaje como al final del mismo.

El parámetro  $a^*$  (rojo) (Figura 4.5.B) aumentó sensiblemente en todas las muestras (CTRL, SAC y TRE) a lo largo del almacenamiento, siendo el componente cromático más afectado por el almacenamiento a  $38^\circ\text{C}$ . Probablemente esto se deba a reacciones de pardeamiento no enzimático y/o enzimático (dado que las muestras no han sido escaldadas). Las muestras impregnadas con trehalosa fueron las que experimentaron un menor incremento del parámetro  $a^*$ , y esto podría atribuirse a la conocida “inercia química” de la trehalosa.

El parámetro  $b^*$  (amarillo) fue relativamente estable a lo largo del tiempo de almacenamiento en los tres sistemas evaluados. El hecho de que las muestras impregnadas con azúcares tengan valores de  $b^*$  levemente mayores a la muestra control

podría indicar que la impregnación con sacarosa y trehalosa aumentan la concentración en los pigmentos de coloración amarilla (Figura 4.5.C).

Los cambios totales del color ( $\Delta E$ ) de los diferentes sistemas durante el período de almacenamiento se observa en la Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Cambios totales del color en las sistemas CTRL (■ SAC (■) y TRE (■) durante el periodo de evaluación.

Las muestras CTRL y SAC presentaron un incremento significativo en los cambios del color durante el periodo de almacenamiento. Moraga et al., (2011), determinaron un incremento en los parámetros cromáticos L y a\* de muestras de banana y manzana liofilizada. Al aumentar la humedad, la luminosidad de las muestras disminuía y el ángulo de tonalidad se movía del color amarillo-verde (b\*) a el naranja-rojo (a\*), ocasionado por el pardeamiento de las muestras.

Por otro lado, el sistema TRE evidenció un comportamiento errático durante el periodo de evaluación. Parte de los cambios observados en los tres sistemas podrían explicarse por reacciones de deterioro de los flavonoides presentes en la banana, y además que son sustratos del pardeamiento enzimático generado por las PPO (BeMiller et al, 2000; Guerrero et al., 1996). Además la dopamina (3.4 dihidroxi-fenil-etil-amina) componente de la banana, es oxidado por la PPO y ocasiona el pardeamiento de la

muestra, siendo este sustrato el más reactivo en comparación con otros componentes como D y L dopa, catecol y ácido clorogenico (Palmer, 1963).

Dado que los cambios de color están relacionados con reacciones de pardeamiento, en la Figura 4.7 se muestra el índice de pardeamiento (IB) de las muestras.

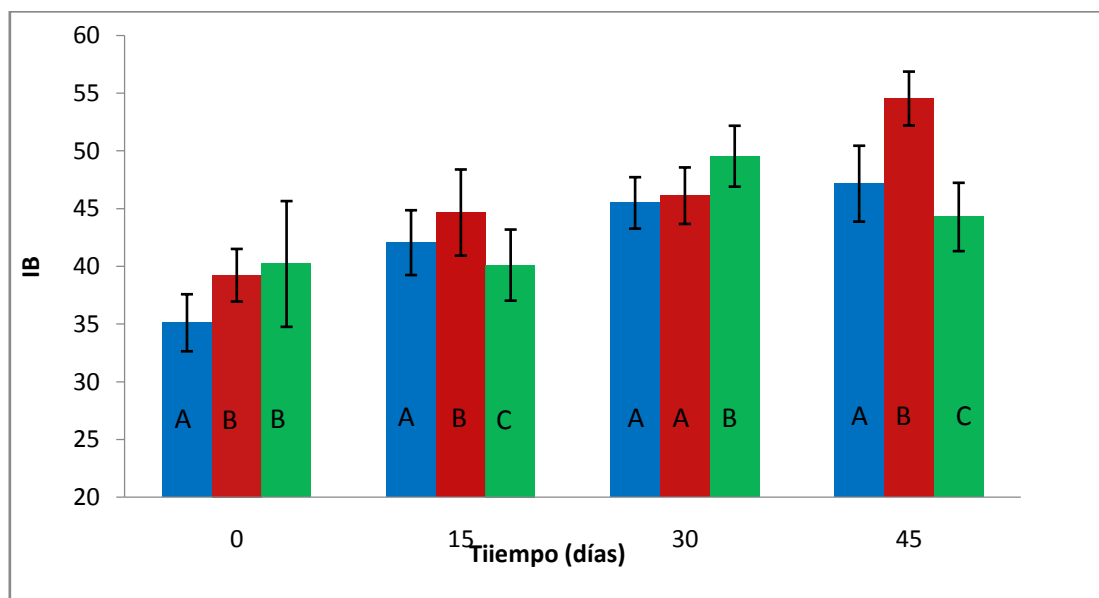


Figura 4.7. Índice de pardeamiento (IB) de las muestras CTRL (■), SAC (■) y TRE (■) durante el periodo de evaluación. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para el sistema durante el tiempo de almacenamiento.

Se puede observar un incremento en el índice de pardeamiento (IB) en todas las muestras a través del periodo de almacenaje, determinando que los cambios en el parámetro  $a^*$  (Figura 4.5.B) fueron generadas por reacciones de pardeamiento. Las muestras de TRE son las que presentan el menor índice al final del periodo de análisis, demostrado el efecto protector de la trehalosa sobre el pardeamiento de las muestras. Kopjar et al., (2008) reportaron que la adición de trehalosa en crema de frutilla liofilizada presentó un efecto protector sobre el color, el aroma y en la retención de compuestos antioxidantes como las antocianinas, siendo el nivel de retención proporcional a la concentración de trehalosa utilizada.

A medida que evoluciona el almacenamiento las muestras SAC y CTRL son similares (Día 30. Figura 4.6) demostrando que la DO con sacarosa no presenta efecto protector sobre el pardeamiento de las muestras liofilizadas.



Se realizó un análisis de la varianza multivariado (MANOVA) con el fin de analizar si: a) el color evolucionó de manera global significativamente diferente entre muestras; b) en que tiempo de almacenamiento el color de una muestra varió significativamente; integrando los tres parámetros mediante el test a posteriori Hotelling basada en la corrección de Bonferroni con  $\alpha=0,05$ . Además se realizó el análisis discriminante de las muestras para identificar el parámetro más influyente en el almacenamiento de las muestras.

Previamente al MANOVA se determinó la correlación existente entre las variables cromáticas evaluadas (ver Anexo, Tabla 4.4.1. y Tabla 4.4.2) encontrando una correlación significativa entre las variables H y C para a\* y b\* respectivamente, por tal motivo las variables H y C se excluyeron del MANOVA. El MANOVA mostró que existen diferencias significativas ( $p<0,05$ ) para cada sistema (CTRL, SAC y TRE) a lo largo del tiempo de estudio analizando el total de los componentes cromáticos. Por otro lado, se encontraron diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre los sistemas en todos los tiempos de evaluación. Es decir que el color de las muestras en forma global fue diferente (Tabla 4.3). Para identificar cuál de los parámetros cromáticos fue el más discriminante entre las muestras a tiempo cero y al final del almacenamiento (45 días), se utilizó el Análisis de la Función Discriminante (AFD). Los resultados se presentan en la sección de ANEXOS en la Tabla 4.4.4. Observando que en la primera función discriminante el parámetro b\* es el de mayor importancia en la diferenciación de los datos, y para la segunda función es el parámetro a\*.

**Tabla 4.3.** Valores promedio de los parámetros cromáticos L, a\*, b\* en los sistemas CTRL, SAC y TRE a lo largo de 45 días de almacenamiento.

Sistema	Tiempo	L	a*	b*	
CTRL	0	64 ± 1	0,5 ± 0,1	19 ± 1	D, c
	15	61 ± 1	4,2 ± 0,4	19 ± 1	C, c
	30	60 ± 1	4,9 ± 0,4	20 ± 1	B, c
	45	59 ± 1	4,6 ± 0,4	20 ± 1	A, c
SAC	0	65 ± 1	0,3 ± 0,1	21 ± 1	D, b
	15	64 ± 1	0,8 ± 0,3	23 ± 1	C, b
	30	61 ± 1	2,9 ± 0,2	22 ± 1	B, b
	45	57 ± 1	3,2 ± 0,3	23 ± 1	A, b
TRE	0	66 ± 3	0,5 ± 0,3	22 ± 2	D, a
	15	63 ± 1	0,5 ± 0,2	21 ± 1	C, a
	30	60 ± 1	1,5 ± 0,2	23 ± 1	B, a
	45	60 ± 1	1,9 ± 0,3	21 ± 1	A, a

Letras mayúsculas iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para ese sistema a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Letras minúsculas iguales indican que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los sistemas evaluados para un tiempo de almacenamiento dado.

La Figura 4.8 muestra la clasificación de los parámetros cromáticos obtenidos para los sistemas analizados en el inicio del almacenamiento. Se clasificaron correctamente el 90,81% del total de los datos con el análisis discriminante. Los datos analizados del sistema TRE presentaron un error aproximado del 24,6%, por otro lado, los sistemas CTRL y SAC reportaron un error inferior al 2%. Las muestras CTRL se ubican en la zona de los valores positivos del primer eje canónico, en cambio los sistemas tratados por DO se encuentran en la zona de los valores negativos. El parámetro cromático más influyente en este eje canónico es b\* (tono amarillo) lo cual refuerza la idea de que las muestras que recibieron DO presentan un aumento en la tonalidad amarilla. En cuanto a SAC y TRE, se diferenciaron en el segundo eje canónico, siendo las muestras TRE más claras (mayor contribución en L).

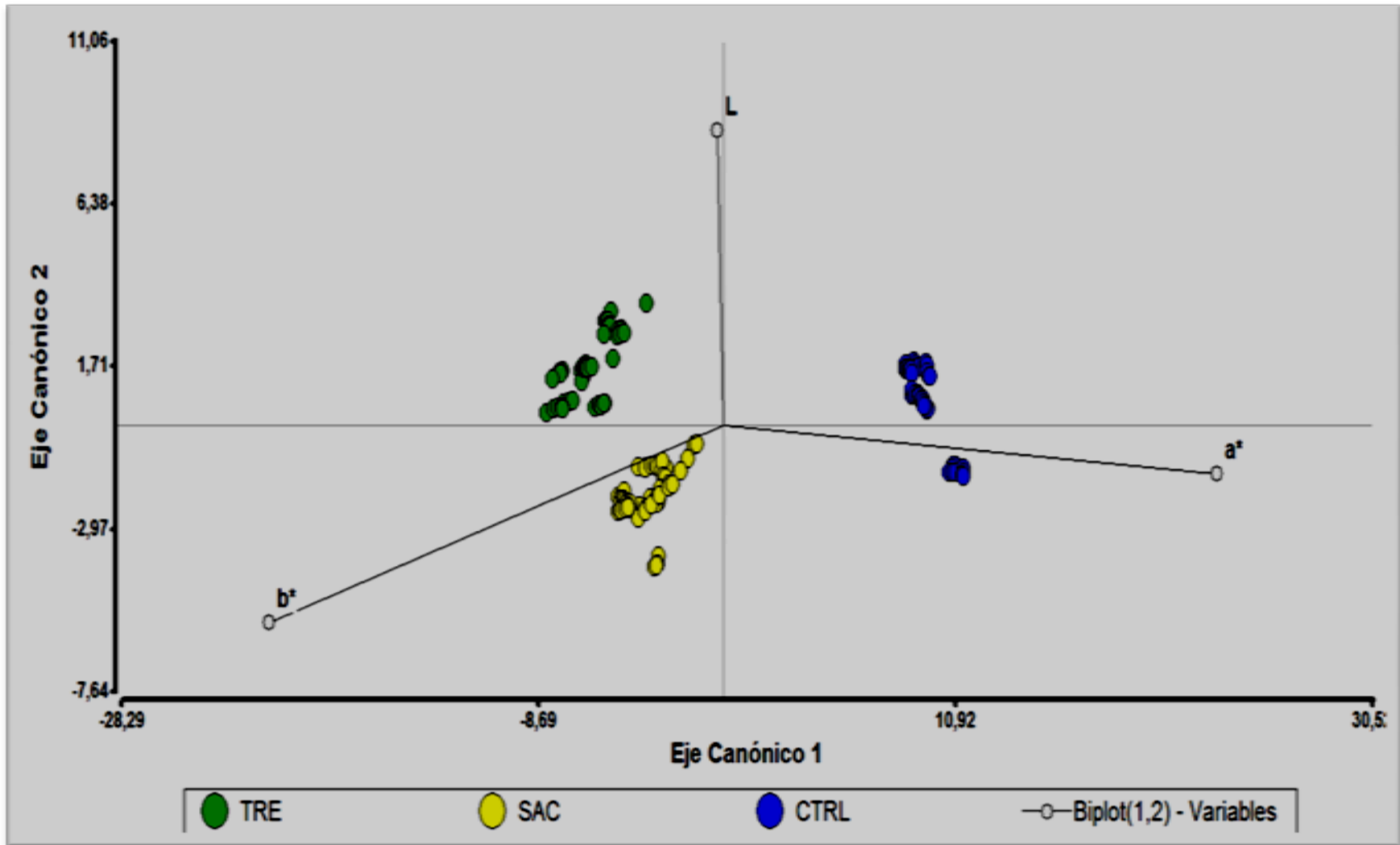
**Figura 4.8.** Análisis discriminante de los componentes cromáticos L, a\*, b\* para las muestras CTRL (●), SAC (●) y TRE (●) al tiempo cero de almacenamiento.

El mismo análisis se hizo a los 45 días de almacenamiento a 38°C. En este caso la primera función discriminante explicó el 95,5% de la variación de los datos (ver ANEXO 4.4.5). En este caso fue  $a^*$  el parámetro más influyente sobre la discriminación de los datos totales para la primera función discriminante, seguido por el  $b^*$  (ver ANEXO 4.4.6). Para la segunda función discriminante el parámetro de mayor influencia fue L seguido de  $b^*$  y por último  $a^*$ . El AFD permitió analizar el 100% del total de los datos ( $n=180$ ), demostrando que no existe error en la clasificación de los sistemas evaluados y se presenta en la Figura 4.9.

Los sistemas fueron claramente diferenciados. El sistema CTRL se encuentra ubicado en la zona de los valores positivos del primer eje canónico, definido por  $a^*$  y alejado de las muestras SAC y TRE que están ubicadas en la zona de los negativos caracterizados por  $b^*$ . El sistema SAC se encuentra fuertemente relacionado con el parámetro  $b^*$  mientras que el TRE está influenciado por la luminosidad.

La DO permitió disminuir el incremento del parámetro  $a^*$  durante el almacenamiento. Las muestras impregnadas con trehalosa mostraron el menor valor de  $a^*$  al final del periodo de evaluación, indicando que este disacárido presenta efectos beneficiosos para la estabilidad de las bananas liofilizadas.

En la Figura 4.9 se observa que las muestras del sistema CTRL son las que presentan mayor pardeamiento, en comparación con los sistemas SAC y TRE. Estos resultados se muestran también en la Tabla 4.3.



**Figura 4.9.** Análisis discriminante de los componentes cromáticos obtenidos en los diferentes sistemas CTRL ( ● ), SAC ( ● ) y TRE ( ● ) al final del almacenamiento a 38 °C (45 días).

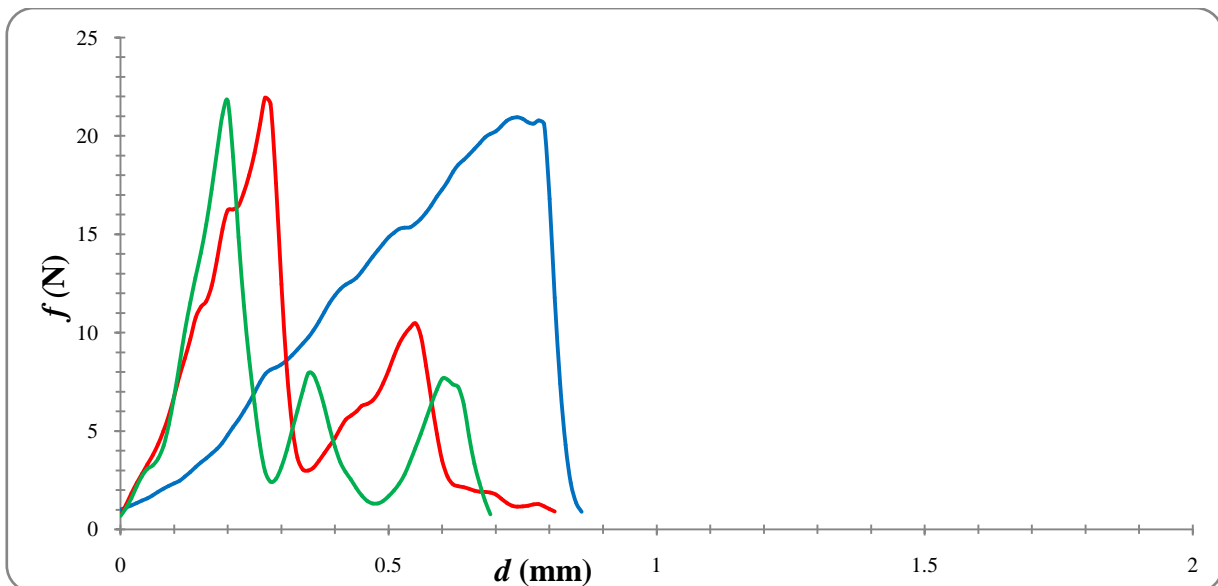
## 4.5. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.5.1. COMPORTAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE BANANAS

#### LIOFILIZADAS SIN Y CON DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA PREVIA

En la Figura 4.10 se observa una curva típica de fuerza de penetración ( $f$  expresada en N) vs distancia de compresión ( $d$  expresada en mm) obtenidas para las muestras CTRL, SAC y TRE. Cada curva es representativa de las 30 muestras analizadas para cada sistema. Inicialmente se observó un incremento en la fuerza ( $f$ ) y distancia ( $d$ ) hasta alcanzar el punto de ruptura de la muestra, donde se obtiene la fuerza de ruptura ( $f_R$ ) y la distancia ruptura ( $d_R$ ), a partir de este punto la  $f$  descendió hasta un valor mínimo. Este comportamiento es característico de productos con baja actividad de agua, rígidos y con baja resistencia a la deformación.

Las muestras que fueron impregnadas con disacáridos mostraron una  $f_R$ , significativamente mayor pero presentaron menor  $d_R$  y una mayor pendiente que la muestra CTRL (Figura 4.10). De esta manera, el tratamiento con azúcares generó menor resistencia a la deformabilidad, característica típica de productos crocantes.



**Figura 4.10.** Curva típica de fuerza (N) vs distancia (mm) de banana liofilizada

CTRL, SAC y TRE recién liofilizadas.

Existen algunos parámetros implícitos en la curva, el módulo de Young ( $Y$ ) la pendiente de la curva y la energía ( $W$ ), área bajo la curva, medidos hasta el punto de ruptura. El parámetro  $W$  determina la energía necesaria para alcanzar el punto de ruptura de la muestra, y el módulo de Young determina la pendiente de la curva, la cual está relacionada con la firmeza de la muestra.

En la Tabla 4.4 se muestran los valores de  $f_R$ ,  $d_R$  y  $W$  y  $Y$  promedio y el desvío estándar obtenidos a partir del ensayo de penetración de 30 muestras de cada sistema.

**Tabla 4.4.** Valores medios de los parámetros mecánicos  $f_R$ ,  $d_R$ ,  $W$  y  $Y$  obtenidos a partir del ensayo de penetración realizado a las bananas liofilizadas.

Muestras	$f_R$ (N) $\pm$ SD	$d_R$ (mm) $\pm$ SD	$W$ $\pm$ SD	$Y$ $\pm$ SD
CTRL	21 $\pm$ 4	0,7 $\pm$ 0,3	8 $\pm$ 3	26 $\pm$ 11
SAC	22 $\pm$ 5	0,3 $\pm$ 0,1	3 $\pm$ 2	47 $\pm$ 19
TRE	20 $\pm$ 5	0,3 $\pm$ 0,1	3 $\pm$ 2	54 $\pm$ 19

Se observó que las muestras impregnadas con sacarosa reportaron el máximo valor de  $f_R$  con un promedio de  $22 \pm 5$  seguido por la muestra CTRL y la muestra TRE. La distancia de ruptura ( $d_R$ ) es mayor en las muestras control ( $0,7 \pm 0,2$ ) en comparación con los sistemas que fueron deshidratados osmóticamente (SAC y TRE). Cabe resaltar que las muestras impregnadas con disacáridos presentaron valores similares entre sí para la  $d_R$  (Tabla 4.4).

El parámetro mecánico  $W$  es influenciado por el  $d_R$  y  $f_R$ , debido a que representa el área bajo la curva de la gráfica  $f$  vs  $d$ , desde el origen hasta el punto de ruptura (ecuación 3.2). La muestra CTRL reportó un valor promedio significativamente superior a las muestras tratadas osmóticamente, teniendo mayor resistencia a la deformación.

El cálculo del  $Y$  fue realizado mediante la regresión lineal de la curva  $f$  vs  $d$ , desde el inicio hasta el 10% de la deformación de la muestra, en este rango de la curva de

deformación se obtuvo un  $R^2$  de 0,999. El sistema TRE presentó la mayor pendiente en la curva de esfuerzo vs deformación, demostrando que son muestras con menor resistencia a la deformabilidad.

Para establecer las diferencias significativas entre las medias (centroides) de los parámetros mecánicos para los diferentes sistemas CTRL, SAC y TRE, se realizaron los tratamientos estadísticos expuestos en materiales y métodos, sección 3.10. Mediante estos análisis estadísticos se encontró una correlación significativa entre las variables  $d_R$ - $W$ , por tal motivo la variable  $W$  es excluida del análisis multivariado, el cálculo del área bajo la curva está directamente influenciada por  $f_R$  y  $d_R$ .

El tratamiento de DO previo a la liofilización generó cambios significativos en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra control (MANOVA, F (Pillai)<sub>6, 186</sub> sistemas = 15,91  $p < 0,05$ ).

Se realizaron comparaciones múltiples donde se detectaron diferencias entre las muestras. Los valores medios multivariados (centroides) de CTRL presentaron diferencias significativas con los sistemas impregnados SAC y TRE (Prueba de comparaciones múltiples, Hotelling);  $p < 0,05$ ; Tabla 4.7).

**Tabla 4.5** Valores medios de los parámetros mecánicos obtenidos a partir del método de penetración de las muestras CTRL, SAC y TRE para el día cero de almacenamiento.

Muestras	$f_R \pm SD$	$d_R \pm SD$	$Y \pm SD$	
CTRL	21 $\pm$ 4	0,7 $\pm$ 0,3	26 $\pm$ 11	A
SAC	22 $\pm$ 5	0,3 $\pm$ 0,1	47 $\pm$ 19	B
TRE	20 $\pm$ 5	0,3 $\pm$ 0,1	54 $\pm$ 19	B

Las diferentes letras representan diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) entre las muestras, según el análisis de comparaciones múltiples Post-hoc utilizando la prueba Hotelling basada en la corrección de Bonferroni con  $\alpha=0,05$ .

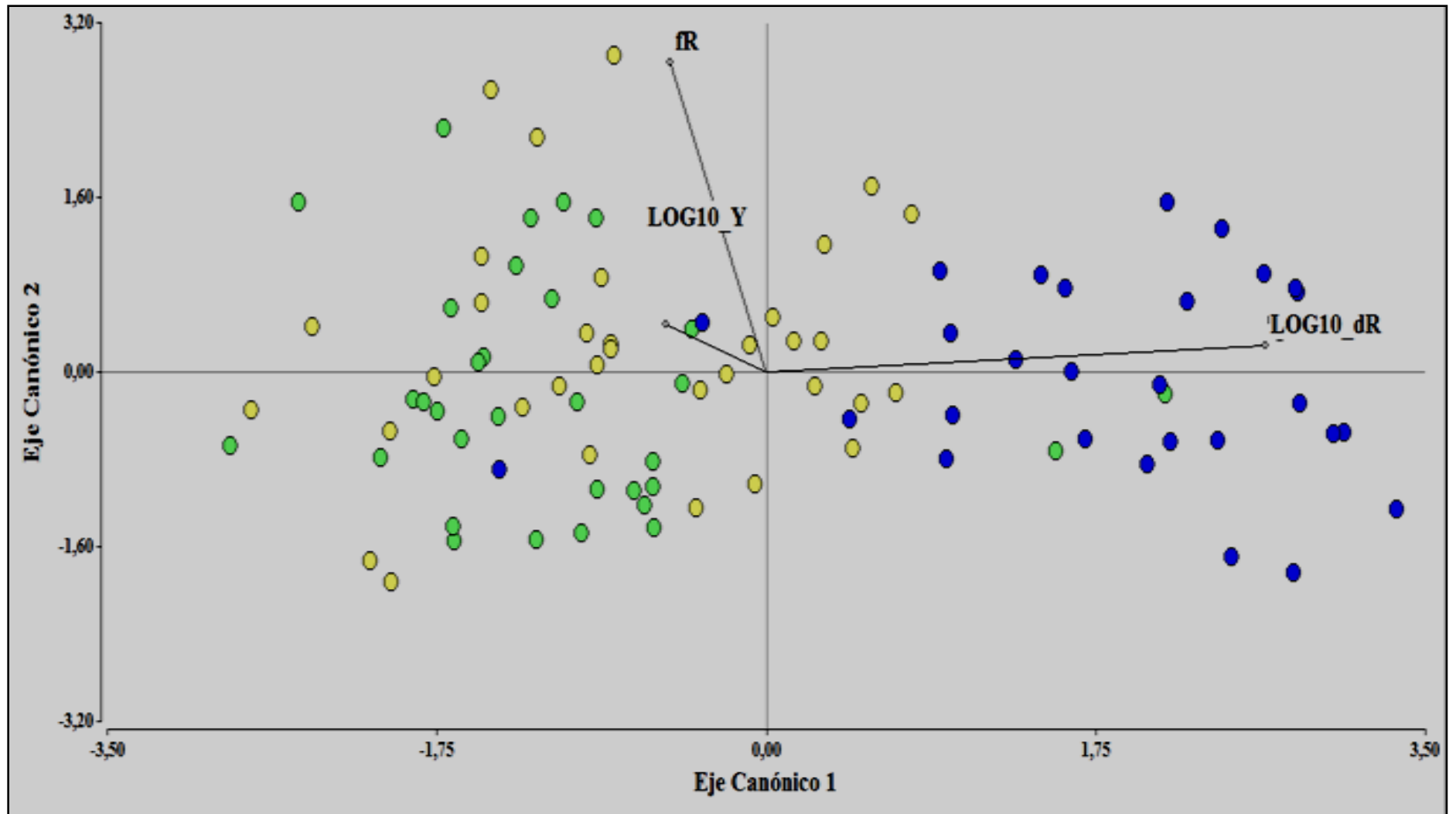


Los resultados presentados en la Tabla 4.5 muestran diferencias entre los sistemas DO y el CTRL en cuanto a  $d_R$ ,  $f_R$  y  $Y$ . Para clasificar correctamente las observaciones provenientes de las muestras liofilizadas, se realizó un análisis de la función discriminante (AFD).

Los valores reportados demostraron que la primera función discriminante resultante del AFD explicó el 98,33% de la variabilidad de los datos, mientras que la segunda función discriminante explicó el 1,67% de la variabilidad (ANEXOS 4.4.8).

Por otro lado, en la Figura 4.11 se presentó la clasificación de las propiedades mecánicas de las muestras CTRL, SAC y TRE entre la primera y la segunda función discriminante. Observando que el parámetro mecánico  $\text{Log}_{10}d_R$  es el más influyente en la discriminación sobre la primera función discriminante, este efecto es generado por la impregnación de disacáridos en la estructura, lo que le confiere menor resistencia a la deformabilidad de la muestra antes de la ruptura de la estructura, entre las muestras que fueron DO ( $\text{SAC} = 0,3 \pm 0,1$ ;  $\text{TRE} = 0,3 \pm 0,1$  con el sistema CTRL ( $0,7 \pm 0,3$ ) (Tabla 4.5.). Las muestras control se agruparon sobre los valores positivos de la primera función discriminante, por el contrario los sistemas TRE y SAC se encuentran en el eje negativo de la primera función discriminante, el sistema TRE se agrupó en los valores negativos del primer eje canónico, en cambio el sistema SAC presentó una distribución en los diferentes ejes canónicos.

El sistema CTRL se discrimina de los demás sistemas analizados por la deformabilidad de la muestra ( $d_R$ ), debido probablemente a la porosidad de su estructura. En la curva de fuerza vs distancia los parámetros obtenidos  $f_R$  y  $d_R$  están relacionados directamente con la microestructura de la muestra, siendo estos parámetros los de mayor importancia en la diferenciación de las muestras. Según Stanley (1986), en su investigación sobre productos de alta porosidad como los alimentos extruidos, determinó que la porosidad de la estructura influye directamente sobre la disminución en la fuerza y el aumento en la distancia recorrida antes de la fracturabilidad de la estructura. Las muestras impregnadas con disacáridos durante el proceso de DO (SAC y TRE), genera mayor rigidez en la estructura, ya que se aumentan los sólidos totales del producto.

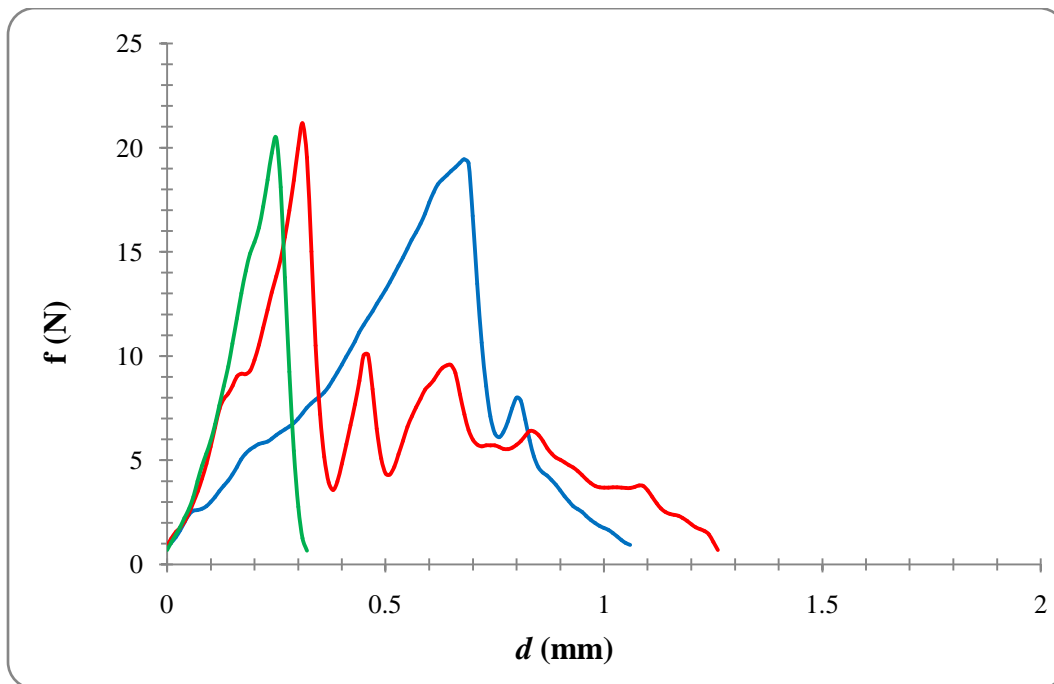


**Figura 4.11.** Análisis discriminante de las estimaciones en las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de penetración ( $f_R$ ,  $\text{Log}_{10} d_R$ ,  $\text{Log}_{10} W$  y  $\text{Log}_{10}$  Modulo de Young) realizado a los diferentes sistemas, Banana control CTRL ( ● ), muestras impregnadas con sacarosa ( ● ) y las muestras que son deshidratadas osmóticamente previo a la liofilización con trehalosa ( ● ).

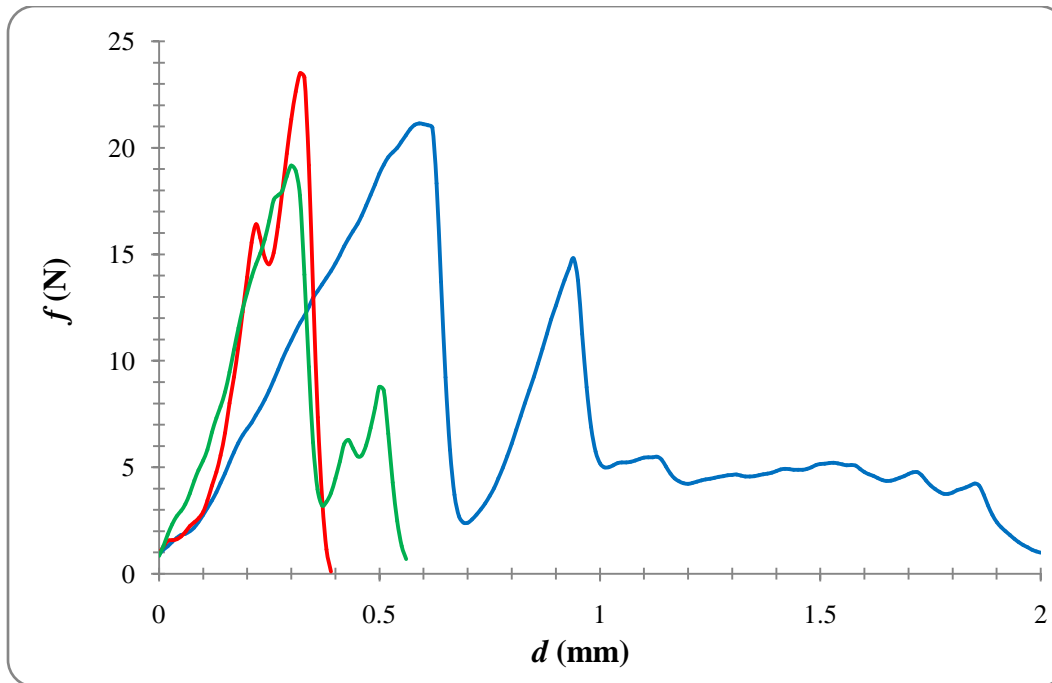
#### 4.5.2. INFLUENCIA DEL ALMACENAMIENTO A 38°C EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

Se analizó el comportamiento de las muestras a tiempo inicial (Grupo I, ver sección 3.10 de Materiales y Métodos) y a los 15 y 30 días de almacenamiento con un ensayo de penetración.

Se evidenciaron comportamientos diferentes en relación a fuerza y distancia en las muestras que fueron impregnadas con disacáridos y la banana CTRL. El comportamiento de las muestras almacenadas a 38°C ante la penetración se observa en las Figuras 4.12.A y 4.12.B. Las curvas expuestas son las más representativas de las 30 muestras que fueron analizadas para cada sistema en los días 15 y 30 de almacenamiento respectivamente.



A



**B**

**Figuras 4.12 A y B.** Curvas de  $f(N)$  vs  $d(mm)$  de banana liofilizada:

CTRL, SAC y TRE    A) 15 días de almacenamiento a 38°C y B) 30 días de almacenamiento a 38°C.

Todos los sistemas generaron curvas características para productos con bajas actividades de agua, observando el pico de ruptura de la muestra, del cual se pueden obtener los parámetros  $f_R$  y  $d_R$ . Aunque las muestras analizadas presentaron diferencias en la fuerza requerida para alcanzar la fracturabilidad de la muestra.

Los resultados obtenidos en el proceso de penetración de las muestras liofilizadas almacenadas a 38°C durante 15 y 30 días se presentan en la Tabla 4.6. Se observó que las muestras TRE presentaron la menor distancia para alcanzar la fractura de la muestra en comparación con SAC y CTRL. Además SAC y TRE necesitaron mayor fuerza para ser fracturadas en comparación con el sistema CTRL.

En la Figura 4.12.B se observó que las muestras analizadas presentaron fracturabilidad, pero las muestras presentaron cambios en los parámetros mecánicos durante el almacenamiento, destacando que la temperatura afecta la estructura de los

alimentos liofilizados. El sistema TRE presentó una pérdida de firmeza, el cual se ve reflejado en una disminución de la  $f_R$  en comparación con el sistema SAC.

Para encontrar las diferencias significativas entre las medias multivariadas (centroides) de los parámetros obtenidos en la penetración de las muestras CTRL, SAC y TRE, se utilizó el MANOVA. Las muestras presentaron cambios significativos durante el periodo de almacenamiento a 38°C con respecto a las propiedades mecánicas de las muestras analizadas (MANOVA, F (Pillai)  $_{24, 822}$  sistemas  $F = 8,57$ ).

**Tabla 4.6** valores medios de los parámetros mecánicos  $f_R$ ,  $d_R$ ,  $W$  y  $Y$  obtenidos a partir del ensayo de penetración realizado a las bananas liofilizadas durante el almacenamiento.

Muestras	$f_R$	$\text{Log}_{10}d_R$	$\text{Log}_{10}Y$	
CTRL_	21 ± 4	0,7 ± 0,2	26 ± 11	A
SAC	22 ± 5	0,3 ± 0,1	47 ± 19	B, C
TRE	20 ± 5	0,2 ± 0,1	54 ± 19	B
CTRL_15	20 ± 4	0,6 ± 0,2	30 ± 10	A
SAC_15	24 ± 7	0,3 ± 0,2	43 ± 26	C
TRE_15	22 ± 4	0,2 ± 0,1	54 ± 26	B, C
CTRL_30	18 ± 4	0,5 ± 0,2	22 ± 9	A
SAC_30	25 ± 6	0,3 ± 0,1	45 ± 30	C
TRE_30	22 ± 5	0,3 ± 0,1	46 ± 19	B, C

Las diferentes letras representan diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) en las muestras, según el análisis de comparaciones múltiples post-hoc utilizando la prueba Hotelling basada en la corrección de Bonferroni con  $\alpha=0,05$ .

La referencia CTRL\_15, SAC\_15 y TRE\_15 indican 15 días de almacenamiento a 38°C. La referencia CTRL\_30, SAC\_30 y TRE\_30 presentan 30 días de almacenamiento a 38°C.

En la Tabla 4.6 se presentaron los valores medios de los parámetros mecánicos a dos tiempos de almacenamiento en los diferentes sistemas evaluados. El sistema CTRL

presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con las muestras TRE y SAC a 15 y 30 días. Esto demuestra que la DO previa a la liofilización incrementa la estabilidad mecánica de los productos. Por otro lado, las muestras SAC y TRE no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas en los diferentes días de almacenamiento.

Las muestras que fueron impregnadas con sacarosa reportaron mayor valor en  $f_R$  en comparación con los demás tratamientos (CTRL y TRE) en todo el periodo de almacenamiento. Pero, cabe resaltar que no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los sistemas evaluados SAC y TRE a través del tiempo de evaluación (Tabla 4.6).

La  $f_R$  es el parámetro que presentó menor estabilidad en el período de vida útil estudiado. El sistema SAC presentó un incremento en la fuerza requerida para la fracturabilidad ( $f_{R\text{inicial}} 22 \pm 5$  y  $f_{R\text{final}} 25 \pm 6$ ), caso contrario presentó el sistema CTRL evidenciando la pérdida de  $f_R$  requerida para lograr la ruptura de la muestra, indicando que la temperatura afecta la dureza y firmeza de las muestras CTRL ( $f_{R\text{inicial}} 21 \pm 4$  y la  $f_{R\text{final}} 18 \pm 4$ ). Por otro lado, el sistema TRE presentó un incremento durante los primeros 15 días de almacenamiento, para después permanecer estable ( $f_{R\text{inicial}} 20 \pm 5$ ;  $f_{R\text{15 días}} 22 \pm 4$  y  $f_{R\text{30 días}} 22 \pm 5$ ) hasta el final del estudio (Tabla 4.6).

Las muestras almacenadas durante 30 días a  $38^\circ\text{C}$  mostraron diferencias entre los sistemas SAC y TRE y la muestra CTRL. Los valores obtenidos en  $W$  son significativamente mayores en el sistema CTRL ( $8 \pm 3$ ) que las muestras SAC ( $3 \pm 2$ ) y TRE ( $3 \pm 2$ ) al final del almacenamiento. Las bananas DO con carbohidratos presentaron valores de  $Y$  mayores a los de la muestra CTRL (Ver Tabla 4.6).

Para lograr clasificar los parámetros obtenidos del ensayo de penetración de las muestras, se realizó el AFD. Los autovalores generados en este test estadístico se observan en la sección ANEXOS 4.4.11. Por otro lado se observan los valores de las funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común (ANEXO 4.4.12).

La Tabla 4.4.11 en la sección de ANEXOS muestra la importancia que presentó la primera función discriminante obtenida en el AFD, solucionando el 89,7 % en la variación de los datos; mientras que la segunda función discriminante evaluó sólo el 9,3% de los valores obtenidos en el ensayo de penetración de las bananas liofilizadas. Por otro lado el eje canónico 3 no se tiene en cuenta para determinar la variabilidad de los datos por su bajo porcentaje en la discriminación de los valores 0,97%. En la Figura 4.13 se observó que el parámetro mecánico  $d_R$  es el más influyente en la primera función discriminante, en la cual, se encuentran las muestras del sistema CTRL, que aumentaron significativamente por efecto de la temperatura, influenciado por el cambio de fase del estado vítreo a gomoso. En la segunda función el parámetro  $f_R$  es el más influyente, ya que los sistemas presentan pérdida de estructura y rigidez durante el almacenamiento, los sistemas SAC y TRE se encuentran influenciados por el parámetro mecánico  $f_R$ , por lo tanto, se ubicaron en la segunda función discriminante.

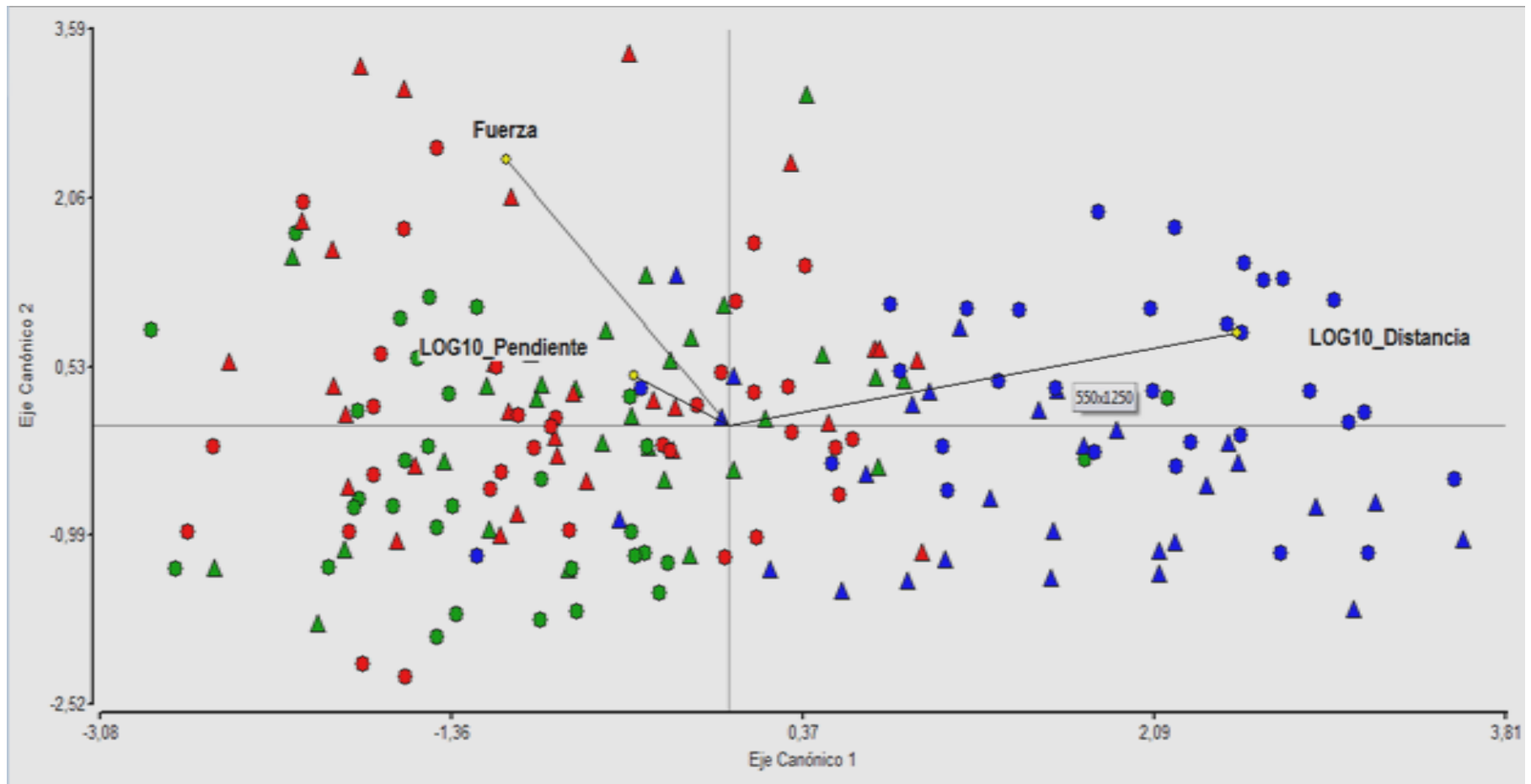
La relación entre los ejes canónicos 1 y 2 se encuentra en la Figura 4.12, además se analizó la relación entre las propiedades mecánicas obtenidas en el análisis de penetración ( $f_R$ ,  $d_R$ , y  $Y$ ) de los diferentes sistemas evaluados. Cabe resaltar que las muestras impregnadas con sacarosa y trehalosa se encuentran en la primera función canónica sobre los valores negativos, demostrando que no hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las muestras SAC y TRE durante el almacenaje a 38°C. Los valores de los centroides obtenidos para los diferentes sistemas analizados se expresan en la (ver ANEXO 4.4.13).

El sistema CTRL se encuentra sobre los valores positivos de la primera función para los diferentes días de almacenamiento, y las muestras SAC y TRE se encuentran en los valores negativos del eje canónico.

La Figura 4.13 mostró que los parámetros mecánicos  $d_R$  y  $f_R$  influyen mayoritariamente sobre la primera función discriminante, donde se encuentran agrupados los sistemas con DO. Lo cual concuerda con los datos reportados en la Tabla 4.6, donde se observa que las muestras de TRE y SAC no presentan diferencias significativas ( $p < 0,005$ ). Las diferencias significativas entre el sistema CTRL y las muestras impregnadas con

azúcares (TRE y SAC) se determinó por el comportamiento de los parámetros mecánicos  $f_R$ ,  $d_R$ ,  $W$  y  $Y$  a través del tiempo de almacenamiento, indicando que los sistemas DO reportaron valores más estables a través de los días en los parámetros mecánicos analizados. Por otro lado, el parámetro más influyente en la discriminación de los sistemas es el  $d_R$ , el cual correlaciona fuertemente con  $W$ , cabe resaltar que el área bajo la curva presenta una dependencia entre el parámetro  $d_R$  y  $f_R$  en el punto de ruptura de las muestras. La impregnación con sacarosa y trehalosa en matrices de banana produjo tejidos más firmes y crocantes a través del periodo de almacenamiento, indicando que el aumento de los sólidos solubles en la matriz produce mayor estabilidad en las propiedades mecánicas.





**Figura 4.13.** Análisis discriminante de las estimaciones en las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de penetración ( $f_R$ ,  $\text{Log}_{10} d_R$ ,  $\text{Log}_{10} W$  y  $\text{Log}_{10}$  Modulo de Young) realizado a los diferentes sistemas almacenados a  $38^\circ\text{C}$ , Banana CTRL ( ● ) CTRL\_30 ( ▲ ), muestras impregnadas con SAC ( ● ) SAC\_30 ( ▲ ) y las muestras que son deshidratadas osmóticamente previo a la liofilización con TRE ( ● ) TRE\_30( ▲ ).

**4.5.3. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DE BANANA LIOFILIZADA EQUILIBRADAS A DIFERENTES ACTIVIDADES DE AGUA (0,22 y 0,33).**

En las Figuras 4.14.A y 4.14.B se puede observar el efecto que presentó la  $a_w$  en la textura de las muestras a 0,22  $a_w$  y 0,33. La curva de  $f$  vs  $d$  que se muestra en siguientes figura, es la más representativa del total de las muestras analizadas para cada sistema.

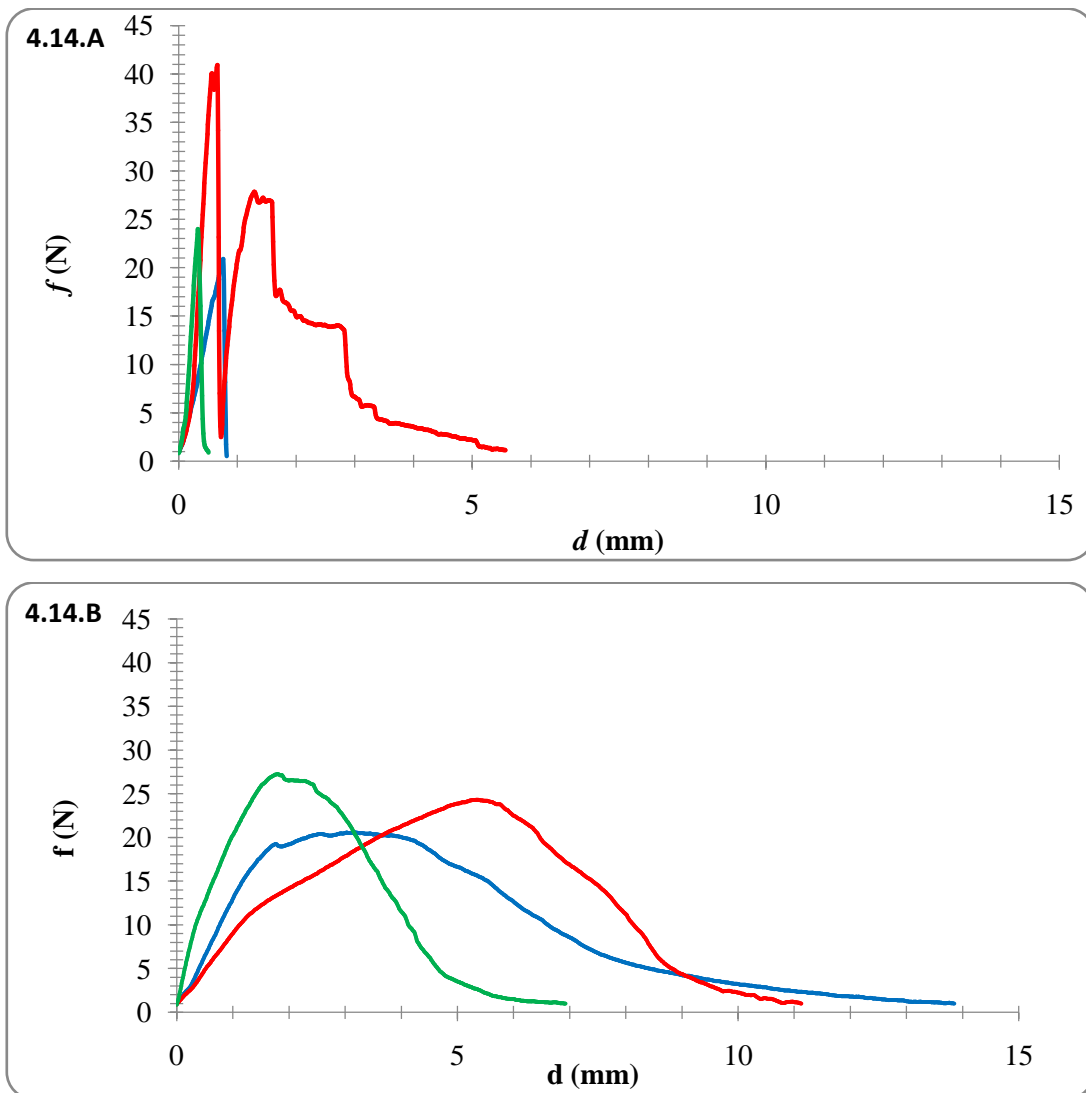


Figura 4.14.A y 4.14.B. Curvas de Carga de compresión (N) vs Extensión por compresión (mm) de banana liofilizada: CTRL— , SAC— y TRE— . A)  $a_w = 0,22$  B)  $a_w = 0,33$

En la Figura 4.14.A se evidencio un comportamiento característico de productos de baja humedad, en la cual, se observó el punto de ruptura de la muestra, con la correspondiente fracturabilidad de la estructura. El proceso de liofilización genera actividades de agua inferiores a 0,12 (Tabla 4.1), por lo tanto, los sistemas CTRL,SAC y TRE que fueron expuestos a humedades relativas de 0,22  $a_w$  absorbieron vapor de agua. El análisis de la cinética de sorción de agua a 22% de HR (Figura 3.3.A.2) no sugería cristalización de azúcares, por lo que se puede inferir que al no haber una transición de fase se conserva la estructura rígida de las muestras.

Por otro lado, las muestras que fueron expuestas a humedad relativa del 33% presentaron perdida de la rigidez, lo cual es compatible con el comportamiento mostrado anteriormente en la cinética de absorción de agua a esta HR que indicaba probable cristalización de azúcares. El sistema TRE presentó el punto de ruptura característico de productos rígidos (Figura 4.14.B), lo cual sugiere que la trehalosa presenta un efecto protector en la cristalización de azúcares a 33% de HR. Es conocido que la trehalosa recién cristaliza a 43% de HR ya que posee la humedad necesaria para formar los cristales dihidrato (Crowe et al.1996; Iglesias et al., 1997) (Figura 4.3.A.3).

Con el fin de encontrar diferencias significativas entre las muestras analizadas a partir de los parámetros mecánicos se realizó un análisis de MANOVA. El efecto generado por las diferentes humedades relativas sobre las propiedades mecánicas de las muestras CTRL, SAC y TRE fue evaluado por medio del ensayo de penetración, donde se evidenciaron cambios significativos respecto a las propiedades mecánicas de los diferentes sistemas (MANOVA, F (Pillai)  $p < 0,0001$  sistemas  $F = 30,35$ ).

En la Tabla 4.7 se reportan los valores obtenidos por los diferentes sistemas en el ensayo de penetración a diferentes humedades relativas (22% y 33%).

**Tabla 4.7** Valores medios de los parámetros mecánicos obtenidos a partir del método de penetración de las muestras CTRL, SAC y TRE equilibradas con la solución salina saturada de acetato de potasio (CTRL\_0,22; SAC\_0,22 y TRE\_0,22) y cloruro de magnesio (CTRL\_0,33; SAC\_0,33 y TRE\_0,33).

Muestras	$f_R$	$Log_{10} d_R$	$Log_{10} Y$	
CTRL	21 ± 4	0,8 ± 0,3	26 ± 11	<i>A</i>
SAC	22 ± 5	0,3 ± 0,1	47 ± 19	<i>B</i>
TRE	20 ± 5	0,3 ± 0,1	54 ± 19	<i>B</i>
CTRL_0,22	22 ± 5	0,6 ± 0,7	18 ± 10	<i>A</i>
SAC_0,22	34 ± 7	0,3 ± 0,3	24 ± 14	<i>D</i>
TRE_0,22	24 ± 6	0,1 ± 0,2	30 ± 18	<i>E</i>
CTRL_0,33	21 ± 5	3,1 ± 0,9	13 ± 5	<i>F</i>
SAC_0,33	26 ± 7	5 ± 1	10 ± 6	<i>G</i>
TRE_0,33	28 ± 5	1,2 ± 0,7	32 ± 20	<i>H</i>

Los valores medios que contenga letra común no son significativamente diferente ( $p < 0,005$ ). Comparaciones múltiples Post-hoc utilizando la prueba Hotelling basada en la corrección de Bonferroni con  $\alpha=0,05$ .

Los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas en las Figuras 4.14.A y 4.14, B se reportan en la Tabla 4.7, en la cual, se observó la pérdida de rigidez generado por el incremento de la actividad acuosa en la muestra ( $a_w= 0,22$  y  $0,33$ ). Según el análisis estadístico las muestras son significativamente diferentes ( $p < 0,005$ ) en las diferentes humedades relativas a las que fueron expuestas. Es importante analizar el sistema CTRL el cual presentó la menor  $f_R$  necesaria para alcanzar la deformación total de la muestra en 22%HR, en las condiciones de humedad relativa elevadas 33% las muestras CTRL presentaron pérdida de la crocancia, identificada con la pérdida del pico característico de fracturabilidad de la muestra (Figura 4.14.B).

El sistema SAC presentó un incremento significativo en la  $d_R$  y el  $W$  alcanzando valores de  $SAC_{0,22} = 0,3 \pm 0,3$  y  $SAC_{0,33} = 5 \pm 1$  para la  $d_R$  y para  $W$ ,  $SAC_{0,22} = 9 \pm 8$

y SAC<sub>0,33</sub> = 89 ± 29 (Tabla 4.9); además una disminución en la  $f_R$  y el  $Y$  lo cual infiere en la pérdida del punto de ruptura de la muestra en condiciones del 33%HR. La pérdida de firmeza se identifica con la disminución en la fuerza de ruptura y el aumento en el área bajo la curva, por efecto de cambios físicos en la muestra, ya que pasa del estado vítreo amorfo a gomoso perdiendo la crocancia característica del producto, que es un parámetro importante para la aceptabilidad del consumidor en productos de baja humedad (Martinez-Navarrete et al. 2004; Roos et al. 1998).

La DO con trehalosa mejoró considerablemente la estabilidad de la estructura de la muestra, conservado el punto de ruptura característico de productos rígidos cuando se almacenan a 33%HR. Además las muestras impregnadas con este disacárido presentaron un incremento en la  $f_R$  y el  $Y$  en los diferentes ambientes de humedad relativa. El módulo de deformabilidad ( $Y$ ) presentó estabilidad en 22% y 33%HR para el sistema TRE, por lo tanto, el parámetro  $d_R$  involucrado directamente en la deformabilidad de la muestra no presentó cambios significativos durante el almacenamiento a 22% y 33% HR. Además los valores de  $d_R$  y  $W$  del sistema TRE son inferiores a los obtenidos por el sistema SAC y CTRL, indicando que las muestras que fueron impregnadas con trehalosa no requiere grandes deformaciones para lograr la fracturabilidad de la muestra; (Figura 4.15) obteniendo valores promedios de  $d_R = 0,1 \pm 0,2$  y  $W = 4 \pm 18$  (Tabla 4.9). Este efecto se puede determinar con el módulo de deformabilidad ( $Y$ ), ya que este parámetro mecánico está relacionado con la firmeza de la muestra y las muestras de TRE presentaron valores elevados en comparación con los demás sistemas.



Figura 4.15. Análisis de textura, por el método de penetración sobre la muestra de TRE equilibradas en una humedad relativa del 22%.

Cabe resaltar que el sistema CTRL presentó los valores más bajos en  $f_R$ , en comparación con los sistemas DO, pero en los parámetros mecánicos  $d_R$  y  $W$  reportó los valores más levados. El incremento en el parámetro  $d_R$  genera un aumento en el área bajo la curva determinado por  $W$ , cuyos valores obtenidos para el sistema CTRL fueron (CTRL =  $8 \pm 3$ ; CTRL\_0,22 =  $10 \pm 16$  y CTRL\_0,33 =  $46 \pm 20$ ), generado pérdida de fracturabilidad de las muestras (Figura 4.16).

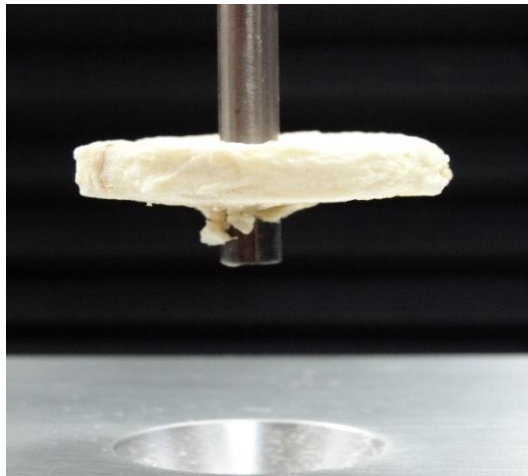


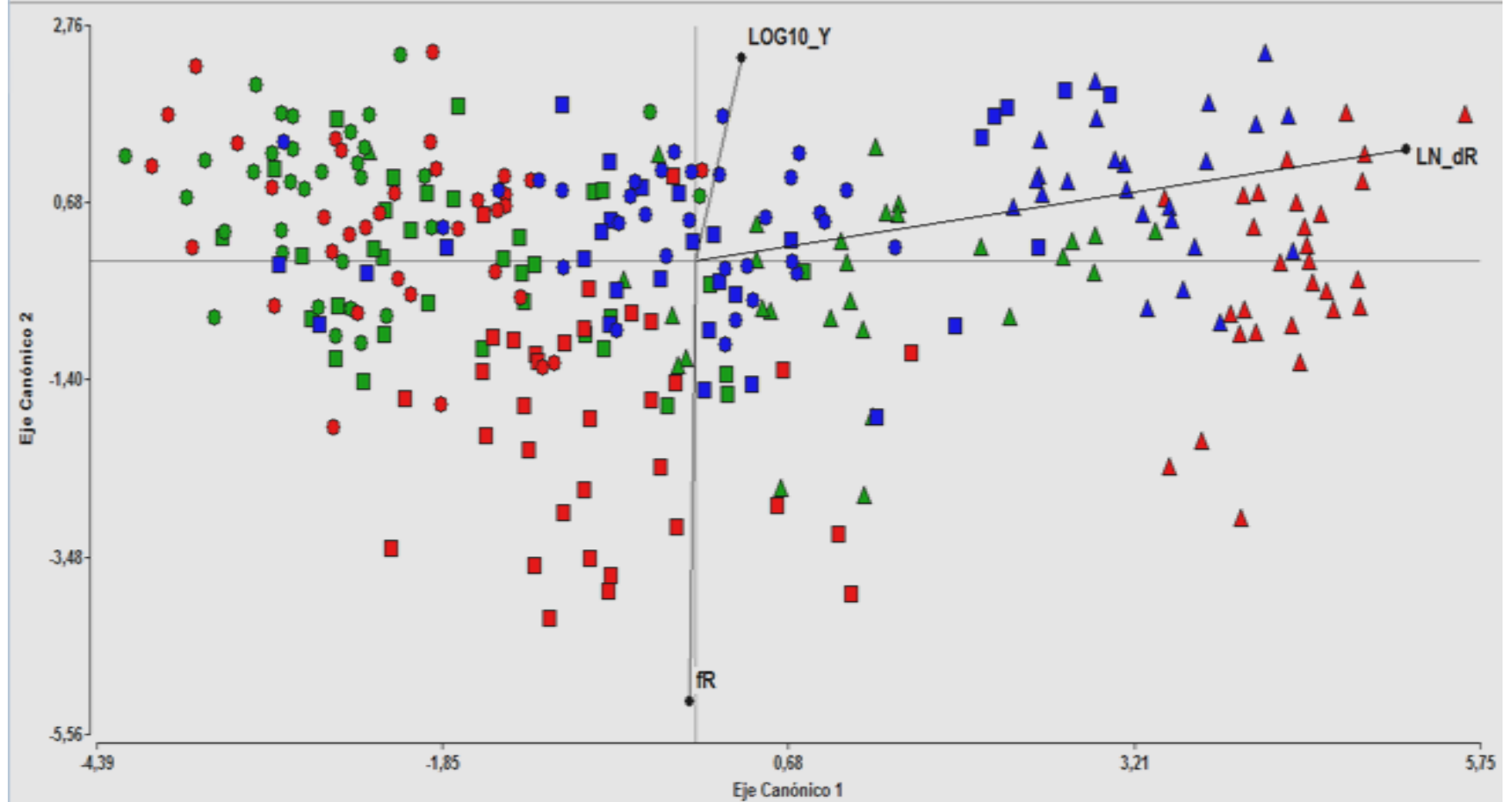
Figura 4.16. Análisis de textura, por el método de penetración sobre la muestra de CTRL equilibradas en una humedad relativa del 33%.

Las diferencias significativas entre los sistemas impregnados con azúcares en las muestras equilibradas a las diferentes actividades de agua (0,22 y 0,33) indican el efecto positivo de la trehalosa para mantener la crocancia de la banana liofilizada.

Para identificar la relación existente entre los parámetros mecánicos obtenidos durante el ensayo de penetración, se utilizó el análisis discriminante (AFD). En la Figura 4.17 se observa la importancia que presentó el parámetro  $d_R$  en la diferenciación de los datos en la primera función discriminante, que a su vez tuvo el 84,69% de la variabilidad de los datos, la segunda función presentó un 11,48% de la explicación de los datos, siendo la  $f_R$  el parámetro mecánico más influyente en este eje canónico (ANEXO 4.41.5 Y 4.4.16).

Las muestras CTRL y SAC presentaron pérdida de la estructura cuando son expuestas a diferentes HR de 22% y 33%, ya que el proceso de liofilización genera productos altamente higroscópicos, que favorece la absorción de agua, ocasionando pérdida de estructura de los productos vítreos amorfos. Este efecto se observa en la Figura 4.17, donde se identificaron las diferencias existentes entre las muestras equilibradas a 22% y 33%HR en comparación con las muestras que no fueron expuestas a la adsorción de agua. Moraga et al., (2011), también encontraron que muestras de banana liofilizada expuesta a  $a_w$  0,113 y 0,230, mantenían las propiedades mecánicas, pero a partir de una  $a_w$  superior se observaban cambios importantes.

Las muestras almacenadas a HR de 33% se agrupan en la zona de los valores positivos de la primera función discriminante, que se encuentran fuertemente influenciados por la  $d_R$ . lo cual se ve reflejado en una estructura blanda, donde no exista un punto de ruptura en el análisis de penetración de las muestras. Los valores obtenidos de las muestras SAC\_033 se encuentran más alejado del valor 0 de la primera función discriminante (Figura 4.17). Cabe resaltar que las muestras de SAC y CTRL equilibradas a 22% se ubicaron en la zona central del AFD. Por otro lado, las muestras CTRL\_0,22 y CTRL no presentan diferencias significativas (Tabla 4.7), por tal motivo se encuentran dispersas por la sección de los valores negativos de la función discriminante, y se encuentran fuertemente influenciadas por la  $f_R$ .



**Figura 4.17.** Análisis discriminante de las estimaciones en las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo de penetración ( $f_R$ ,  $\text{Log}_{10} d_R$ ,  $\text{Log}_{10} W$  y  $\text{Log}_{10}$  Modulo de Young) realizado a las muestra control y equilibradas a 0,22  $a_w$  y 0,33  $a_w$ , Bananacontrol CTRL (●) SAC (●) y TRE (●), muestras equilibradas a 0,22  $a_w$  CTRL\_0,22 (■) SAC\_0,22 (■) y TRE\_0,22 (■) y las muestras equilibradas a 0,33  $a_w$  CTRL\_0,33 (▲) SAC\_0,33 (▲) y TRE\_0,33 (▲).



Es importante analizar que las muestras de TRE y TRE\_22 se ubicaron en la zona de los valores negativo, donde el parámetro mecánico  $Y$  determina la discriminación de las muestras, demostrando que las muestras DO con trehalosa fueron más estables que las muestras impregnadas con sacarosa a las diferentes HR utilizadas.

Las muestras que no fueron expuestas a HR se agrupan en la zona de los valores negativos, y están fuertemente discriminadas por  $Y$  y  $f_R$ , ya que estas muestras presentan valores significativamente ( $p < 0,05$ ) menor a las muestras que fueron equilibradas a diferentes HR (Tabla 4.7).

#### **4.6. ANÁLISIS SENSORIAL**

##### **4.6.1. PRUEBA DISCRIMINATIVA**

Se realizó la comparación de los sistemas SAC y TRE con el fin de determinar si los carbohidratos usados en la DO modifican la percepción de las muestras. Los resultados obtenidos en el test discriminativo (test triangular) se muestran en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8.** Resultados del Test del Triángulo para los sistemas SAC y TRE.

Sesión	Respuestas correctas	Respuestas totales
1	12	20
2	11	20
Total	23	40

Las respuestas se analizaron por medio de la distribución binomial: para un total de 40 respuestas se requieren 21 respuestas correctas para determinar que las muestras se perciben como diferentes con un 5% de probabilidad de error. Con un total de 23 respuestas correctas las muestras SAC y TRE se perciben entonces como diferentes.

#### **4.6.2. PRUEBA DESCRIPTIVA**

Previa a la evaluación de los datos del perfil descriptivo de cada producto se presenta una breve descripción del desempeño del panel en esta tarea en la Tabla 4.9. Se observa que los panelistas fueron consistentes en sus evaluaciones de sesión a sesión, siendo que las interacciones Panelista\*Sesión y Producto\*Sesión no fueron significativas. Este resultado, de alguna manera valida el entrenamiento llevado a cabo. En cuanto a la descripción de las muestras a nivel panel, hubo una interacción significativa ( $p < 0.001$ ) para los atributos intensidad de color amarillo, dureza (en boca y medida con los dedos), crocancia, adhesividad y cohesividad. Este resultado podría ser atribuido a una alta similitud en al menos dos de las muestras en estos atributos y no necesariamente a una deficiencia en el entrenamiento.

**Tabla 4.9** - Análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el desempeño del panel en la realización del perfil descriptivo.

Descriptor	F- Producto	F- Sesión	F- Panelista <sup>+</sup>	F- Productox Sesión	F- Panelista <sup>+</sup> xSesión	F- ProductoxPanelista <sup>+</sup>
Intensidad del color amarillo	27,5***	1,15	2,45	1,95	12,5	16,87***
Brillo	56,9***	2,9	5,6*	0,5	0,8	0,2
Aroma a banana	28,9***	1,9	1,8	2,0	6,3	5,8
Sabor a banana	22,4***	0,3	4,3	0,6	4,3	0,2
Gusto dulce	54,0***	0,2	0,4	2,1	3,7	0,01
Rugosidad	68,2***	0,6	0,9	2,4	21,7	4***
Dureza medida con los dedos	9,2***	0,4	1	0,7	15,4	0,4***
Crocancia	59,1***	2,1	3,2	2,2	9,6	0,3**
Adhesividad de la superficie	141,5***	0,5	0,1	0,4	8,6	0,5**
Dureza medida con los dientes	48,3***	3,8	0,4	2,5	38,1	1,6***
Cohesividad	4,2	0,1	4,1	0,8	23,8	0,1***

<sup>+</sup>Representa un efecto aleatorio.

\*\*, \*\*\* Representan un nivel de significancia de 0,01 y 0,001 respectivamente

Para analizar las diferencias entre el sistema CTRL y las muestras que fueron impregnadas con los disacáridos Trehalosa y Sacarosa, se realizó un Análisis de Varianza y un siguiente LSMEANS en el software estadístico R utilizando el paquete lmerTest. Los resultados obtenidos en este análisis, así como los valores promedio y el error estándar de cada descriptor, se presentan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Valores promedio y su error de cada descriptor por producto.

	CTRL	SAC	TRE
Intensidad del color amarillo	1,6 ± 0,1 a	5,4 ± 0,4 b	4,5 ± 0,3 b
Brillo	2,2 ± 0,3 a	7,3 ± 0,4 b	6,4 ± 0,5 b
Aroma a banana	8,1 ± 0,2 a	4,2 ± 0,4 b	4,6 ± 0,5 b
Sabor a banana	9,6 ± 0,1 a	7,6 ± 0,4 b	7,4 ± 0,4 b
Gusto dulce	5,3 ± 0,2 a	9,2 ± 0,3 b	8,3 ± 0,4 c
Rugosidad	4,0 ± 0,5 a	10,1 ± 0,4 b	9,0 ± 0,5 b
Dureza medida con los dedos	8,9 ± 0,3 a	9,8 ± 0,2 b	9,1 ± 0,2 c
Crocancia	6,0 ± 0,3 a	9,0 ± 0,3 b	9,1 ± 0,3 b
Adhesividad de la superficie	4,4 ± 0,2 a	9,8 ± 0,4 b	8,5 ± 0,2 c
Dureza medida con los dientes	9,0 ± 0,2 a	10,6 ± 0,2 b	10,5 ± 0,3 b
Cohesividad	4,9 ± 0,3 a	5,7 ± 0,4 b	5,6 ± 0,4 b

Letras diferentes representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre muestras para ese descriptor, según el test LSMeans.

La muestra CTRL fue significativamente ( $p < 0,05$ ) diferente de las otras dos en todos los atributos evaluados. Esto se debe claramente al tratamiento osmótico, sin importar que tipo de azúcar se utilizara en la DO, el proceso en si generó un cambio en las características sensoriales del producto. Esta muestra se caracterizó por una mayor intensidad de sabor y aroma a banana y un menor dulzor, intensidad de color amarillo y brillo, en comparación con SAC y TRE. Estos resultados concuerdan con los resultados instrumentales del color, donde el CTRL presentó valores bajos en los parámetros cromáticos ( $b^*$  y L). En relación a la textura, la DO aumentó la rugosidad, la dureza (en

boca y medida con los dedos), la crocancia, la adhesividad y cohesividad. El proceso de DO genera una pérdida de estructura, generando una mayor rugosidad en las muestras liofilizadas. El incremento en sólidos genera además muestras más firmes y crocantes, los azúcares presentan mayor adhesividad y cohesividad por su naturaleza química.

La gran diferencia entre la muestra CTRL y las muestras con DO, podría estar escondiendo diferencias más pequeñas, pero significativas, entre los sistemas SAC y TRE. Por esta razón, se realizó un segundo análisis de los datos comparando solamente los sistemas SAC y TRE, los cuales se presentan en la Tabla 4.11.

**Tabla 4.11.** Valor promedio y desvió estándar por descriptor para las muestras SAC y TRE.

	SAC	TRE
Intensidad del color amarillo*	5,4 ± 0,4	4,5 ± 0,3
Brillo*	7,3 ± 0,4	6,4 ± 0,5
Aroma a banana	4,2 ± 0,4	4,6 ± 0,5
Sabor a banana	7,6 ± 0,4	7,4 ± 0,4
Gusto dulce*	9,2 ± 0,3	8,3 ± 0,4
Rugosidad*	10,1 ± 0,4	9,0 ± 0,5
Dureza medida con los dedos*	9,8 ± 0,2	9,1 ± 0,2
Crocancia	9,0 ± 0,3	9,1 ± 0,3
Adhesividad de la superficie*	9,8 ± 0,4	8,5 ± 0,2
Dureza medida con los dientes	10,6 ± 0,2	10,5 ± 0,3
Cohesividad	5,7 ± 0,4	5,6 ± 0,4

\*diferencia significativa ente las muestras ( $p < 0,10$ ).

Los disacáridos usados en la DO generaron muestras diferentes en términos de intensidad de color amarillo, brillo, gusto duce, rugosidad, dureza medida con los dedos y adhesividad a la superficie. Fue la muestra SAC que tuvo valores más altos para todos los descriptores. En el caso del gusto dulce, esto era de esperar dado que el poder edulcorante

de la sacarosa es mayor que el de la trehalosa a una misma concentración (Galmarini et al.,2009). En los atributos crocancia y dureza con los dientes no hubo diferencia entre los disacáridos. Se debe tener en cuenta que las muestras degustadas se encontraban como recién liofilizadas (HR=11%). Este resultado podría haber sido diferente si se hubieran evaluado las muestras luego de un almacenaje a HR de 33%.

#### 4.6.3. PRUEBA HEDÓNICA

Después de determinar las características sensoriales de cada muestra CTRL, SAC y TRE, se evaluó la preferencia. Tal como se mencionó en la sección de materiales y métodos se les pidió a los consumidores que evaluaran la preferencia global y su preferencia respecto del dulzor, el sabor y la dureza, además se indagó por la intención de compra de las muestras.

Conociendo las diferencias entre las muestras, sobre todo en términos de dulzor, el experimento se diseñó teniendo en cuenta el orden de presentación de las muestras, para poder identificar un posible sesgo por contraste (evaluar una muestra en relación a cuanto gustó la muestra precedente). De esta manera se dividió a los consumidores en dos grupos de 35 donde el primer grupo evaluó la muestra SAC en primer lugar seguido por la TRE, el otro lo hizo en el orden inverso. Los resultados se analizaron mediante un ANOVA y los resultados se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Valores de F obtenidos mediante un análisis de la varianza a tres factores la prueba hedónica para SAC y TRE.

	F-Producto	F- Orden	F- Producto*Orden
Preferencia global	7,24 **	0,6	22,75 ***
Dulzor	5,92 *	2,73	10,23 **
Sabor a banana	5,2 *	3,57	24,92 ***
Dureza	0,06	0,34	4,6 *
Intención de compra	8,19**	0,02	22,81 ***

\*, \*\*, \*\*\* Representan un nivel de significancia de 0,05; 0,01 y 0,001 respectivamente.

La interacción Producto\*Orden de presentación, fue significativa para todos los atributos evaluados, demostrando que el orden en el cual se probaron las muestras influyó en las calificaciones dadas por los consumidores. La Tabla 4.13 muestra el valor promedio obtenido según si las muestras fueron evaluadas en primer o segundo lugar. Puede observarse que la preferencia de la muestra TRE disminuye cuando es evaluada después de la muestra SAC, probablemente por un efecto de contraste. Pero cuando las dos muestras son evaluadas sin tener un referencia previa (en primer lugar), los valores de preferencia son similares (6,0 y 5,8 para SAC y TRE respectivamente). Un efecto similar se encontró con la apreciación del gusto dulce. De todas maneras, si bien las diferencias son estadísticamente significativas, se trata de diferencias de  $\pm 0,5$  puntos en una escala de 1 a 9. Las muestras que fueron impregnadas con sacarosa presentaron mayor preferencia global y mayor intención de compra en comparación con las muestras que contienen trehalosa.

**Tabla 4.13.** Valores promedio para cada atributo en la prueba hedónica teniendo en cuenta el orden de presentación de las muestras.

	SAC Total <sup>+</sup>	TRE Total <sup>+</sup>	SAC <sup>++</sup>	TRE <sup>++</sup>	SAC <sup>+++</sup>	TRE <sup>+++</sup>
Preferencia global	5,7	5,2	6,0	5,8	5,4	4,6
Dulzor	6,1	5,5	6,2	6,2	6,0	4,7
Sabor a banana	6,3	5,8	6,4	6,9	6,3	4,7
Dureza	5	4,9	5,4	5,0	4,6	4,9
Intención de compra	3,4	3,0	3,7	3,4	3,1	2,7

<sup>+</sup> Valor promedio obtenido con las calificaciones de todos los consumidores (n=70).

<sup>++</sup> Valor promedio obtenido a partir de los consumidores que probaron la muestra en primer lugar (n=35).

<sup>+++</sup> Valor promedio obtenido a partir de los consumidores que probaron la muestra en segundo lugar (n=35).

Las muestras SAC fueron aceptadas por los consumidores, pero cuando, se comparan las muestras presentadas en primer orden, las diferencias no son significativas. El estudio realizado por Según Levy Y Köster (1999) en bebidas azucaradas y alcohólicas determino

que las muestras evaluadas en primer orden tiene un efecto de curiosidad y novedad en los atributos evaluados en las muestras, por lo tanto las muestras presentan mayor aceptación sensorial cuando son evaluadas en primer orden, además las muestras evacuadas en segundo presentaron cambios en la percepciónobteniendo valores diferentes entre las sesiones realizadas.

#### ***4.7.CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y EL ANÁLISIS SENSORIAL DE LAS MUESTRAS LIOFILIZADAS.***

La Figura 4.19 presenta la correlación realizada por PLS entre las variables sensoriales e instrumentales.Los factores 1 y 2 explicaron el 95% de la correlación.

En la zona de los valores positivos (Figura 4.19), se encuentran los atributos sensoriales: rugosidad, dureza medida con los dedos, crocancia, adhesividad a los dedos y dureza medida con los dientes; junto con los atributos instrumentales de fuerza de ruptura ( $f_R$ ) (fuerza necesaria para generar la fractura de la muestra) y el módulo de Young (es la pendiente de la curva de esfuerzo vs deformación hasta el 10% de la curva). Se observa una alta correlación entre  $f_R$  y la dureza medida con los dedos y entre el módulo de Young y la crocancia (que a su vez está altamente correlacionada con la adhesividad a los dedos, otra medición sensorial).



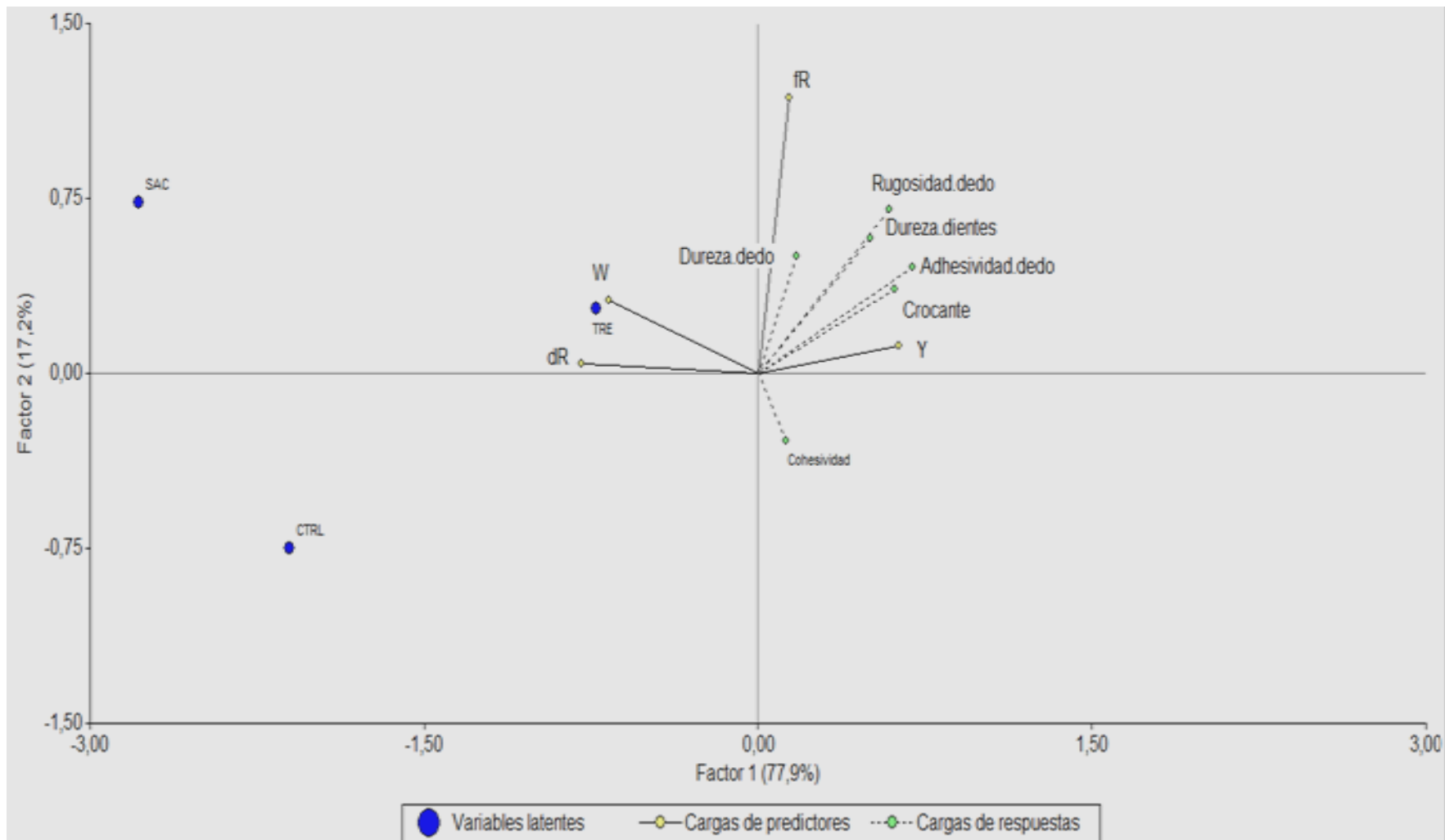


Figura 4.19. Correlación entre los parámetros instrumentales y los atributos sensoriales las muestras liofilizadas CTRL, SAC y TRE con humedad relativa de 11%.

La correlación significativa entre los parámetros que determinan la dureza y firmeza de la muestra se asemejan a los encontrados por otros investigadores. Según Szczesniak (1998) el parámetro de dureza es el que presenta mejor correlación entre las mediciones sensoriales e instrumentales, generando una relación lineal entre los análisis realizados. Según Peleg (1980, 1983) la evaluación sensorial de la textura, ya sea con los dedos o en la boca, está formada por deformación cinética y la interacción entre la resistencia mecánica de los tejidos del cuerpo con la muestra. A diferencia de un instrumento mecánico, que ha sido diseñado deliberadamente para ser rígidos, los tejidos blandos (como en los dedos) pueden deformarse notablemente durante el análisis, alcanzando una correlación significativa entre los parámetros sensoriales y los mecánicos (fuerza de ruptura), cuando se realiza un entrenamiento en los parámetros sensoriales.

La crocancia tiene una alta influencia en la aceptabilidad de los alimentos (Katz and Labuza, 1981). Según Roudaut et al., 2002, la crocancia es difícil de correlacionar. Pero en el presente trabajo se encontró una correlación significativa para el módulo de Young (firmeza de la muestra) con la crocancia de las muestras.

Se encontró a su vez que el atributo sensorial de cohesividad no correlacionó con ningún otro parámetro (Figura 4.19). En el ensayo de penetración realizado por el texturómetro, no existe una variable que determine el grado de adhesión de la muestra. Por lo tanto, es esperado que no exista correlación alguna con las variables predichas de forma instrumental; para alcanzar esta correlación sería necesario aplicar un método TPA, que permite obtener parámetros mecánicos que emulan la mordida sensorial, obteniendo parámetros como la fracturabilidad, dureza, fibrosidad, y elasticidad. Un estudio realizado por Szczesniak et al. (1963) demuestra que estos parámetros están relacionados significativamente con los resultados obtenidos en la evaluación sensorial.

# **CONCLUSIONES**

## 5. CONCLUSIONES

### a. Características físico-químicas del producto con DO y liofilizado

La reducción de  $a_w$  durante la DO es una consecuencia de la pérdida simultánea de humedad y ganancia de soluto (trehalosa ó sacarosa); y en ambos casos el valor de la  $a_w$  final de las muestras SAC y TRE fue similar. Esto se puede atribuir a que ambos disacáridos (trehalosa y sacarosa) tienen la misma capacidad de reducción de la  $a_w$  y poseen el mismo peso molecular.

Se encontró que la inclusión de trehalosa aumentó considerablemente la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de la muestra TRE en comparación con las muestras tratadas con sacarosa y el control liofilizado sin DO previa.

### b. Características de la cinética de sorción de agua y el fenómeno de cristalización en las muestras de banana liofilizada.

El estudio de la cinética de sorción de agua a diferentes humedades relativas (a 36°C) demostró que el verdadero equilibrio fue muy difícil de alcanzar, a pesar de haber seguido el estudio por casi 100 días. Esto se atribuyó a fenómenos de cristalización de azúcares asociados a la pérdida de humedad, los cuales ocurrieron en las muestras CTRL, SAC y TRE expuestas a diferentes HR%. Se demostró que la inclusión de trehalosa en la banana retrasó de forma considerable el fenómeno de cristalización de azúcares en comparación con las muestras SAC y CTRL. Por ejemplo, a una HR 33% a 36 °C se observó rápida pérdida de humedad (asociada a la cristalización) en las muestras de banana CTRL y SAC, pero en cambio la muestra TRE alcanzó un aparente equilibrio. Esto se puede atribuir también a que la trehalosa no puede cristalizar si no tiene la humedad necesaria para formar el dihidrato ( $TRE \cdot 2 H_2O$ ) lo cual ocurre recién a una HR 43 %.

En el “equilibrio” todas las muestras liofilizadas de banana (CTRL, SAC y TRE) presentaron un comportamiento característico de una isoterma de sorción tipo III, la cual es frecuente para productos que contienen componentes cristalinos solubles en agua tales como los azúcares presentes en las muestras de banana.

c. Estabilidad del color en las muestras liofilizadas.

La inclusión de trehalosa en las muestras de banana liofilizada resultó en una luminosidad ligeramente mayor luego de la liofilización y lo mismo luego de los 45 días de almacenamiento a 38°C, en comparación con las muestras SAC y CTRL. Todas las muestras (CTRL, SAC y TRE) presentaron un incremento en el parámetro  $a^*$ , durante el almacenaje (atribuible a reacciones de pardeamiento) aunque este incremento fue bastante menor en las muestras TRE. El parámetro cromático  $b^*$  mostró pocas diferencias entre los sistemas evaluados.

Las muestras TRE presentaron mayor estabilidad en la diferencia del color ( $\Delta E$ ) y en el Índice de Pardeamiento (IB) durante el almacenamiento en comparación con las muestras SAC y CTRL. El análisis de las muestras evidenció que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las muestras TRE, SAC y CTRL en todos los parámetros cromáticos evaluados ( $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  y IB). Esta diferencia es atribuida a las reacciones de pardeamiento que se dan de diferente manera en las muestras evaluadas.

d. Estabilidad de las propiedades mecánicas en los productos liofilizados

Las muestras con inclusión de disacáridos (SAC y TRE) evidenciaron mayor fuerza para la ruptura y menor resistencia a la deformabilidad en comparación con el sistema control. Los disacáridos utilizados no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los parámetros mecánicos evaluados.

Durante los 30 días de almacenamiento las muestras tratadas con trehalosa, obtuvieron la menor distancia para alcanzar la fractura de las muestras liofilizadas y

además evidenciaron el mayor  $Y$  en comparación con SAC y CTRL. La inclusión de sacarosa generó los valores más altos en la fuerza de ruptura durante el almacenamiento en las muestras.

No se observó pérdida de crocancia y rigidez en las muestras liofilizadas almacenadas a una HR 22% que conservaron la estabilidad de las propiedades mecánicas. En cambio, el almacenamiento a 33% HR ocasionó pérdida del pico característico de productos rígidos y crocantes en los sistemas SAC y CTRL, efecto que no presentaron las muestras TRE, y el cual es atribuible a la elevación de la  $T_g$  del sistema.

e. Análisis sensorial de las muestras liofilizadas.

Se encontró que las muestras TRE y SAC se perciben como diferentes de acuerdo al test discriminativo (test triangular). En la evaluación descriptiva se encontró que la muestra CTRL fue diferente a las muestras con DO en todos los atributos propuestos. En cuanto a los disacáridos se encontraron diferencias en la intensidad de color amarillo, el brillo, el gusto dulce, la rugosidad y la adhesividad a los dedos. El uso de la sacarosa generó mayor gusto a dulce, debido a su mayor poder edulcorante en comparación con la trehalosa.

La evaluación realizada por los consumidores mostró que la banana con sacarosa fue preferida en comparación con las muestras tratadas con trehalosa, obteniendo mayores puntuaciones en la preferencia global, dulzura, sabor a banana y la intención de compra. La aceptabilidad del atributo de dureza no presentó diferencias significativas entre las muestras evaluadas SAC y TRE. De todas maneras, se encontró un efecto significativo del orden de presentación. Es decir que las segundas muestras tuvieron menor puntaje por efecto de contraste. Pero cuando TRE fue evaluada en primer lugar, fue igualmente aceptada que la muestra SAC.

f. Correlación entre el análisis sensorial e instrumental

Se encontró una correlación significativa entre los parámetros de textura determinados por el panel y los medidos instrumentalmente. La dureza medida con los dientes correlacionó significativamente con la medición mecánica de fuerza de ruptura y la crocancia con el módulo de Young. Como era de esperar, la cohesividad de las muestras no correlacionó con parámetros mecánicos, ya que el test de penetración no evalúa este aspecto.

g. Importancia de la trehalosa como coadyuvante de secado de banana.

El uso de la trehalosa en la DO generó ciertas ventajas significativas en comparación con la sacarosa, que es el disacárido más utilizado en la DO de frutas. Entre las ventajas está el incremento de la  $T_g$  del producto liofilizado lo cual resulta en una inhibición del fenómeno de cristalización en la matriz amorfa en condiciones elevadas de humedad relativa. Mejoró además el color de la banana luego del almacenaje.

Las propiedades mecánicas de la banana se favorecieron con la inclusión de los disacáridos en la matriz amorfa, generando muestras de baja resistencia a la deformabilidad. El uso de la trehalosa generó mayor estabilidad de las propiedades mecánicas en condiciones de humedad relativa de 33%. En cambio las muestras tratadas con sacarosa presentaron pérdida de firmeza.

En cuanto a la descripción sensorial, el uso de trehalosa dio un producto con menor dulzor, muestras más blancas, y menos adhesivas. En los atributos crocancia y dureza con los dientes no hubo diferencia entre los disacáridos. Es importante destacar que las muestras degustadas se encontraban a una sola HR (11%). En futuros estudios debería evaluarse sensorialmente el producto luego de un almacenamiento a HR más elevadas, como puede ser 33%, donde las medidas instrumentales evidenciaban diferencias entre SAC y TRE.

En síntesis, los resultados obtenidos en el presente trabajo son una herramienta útil para fundamentar la aplicación de la trehalosa en el tratamiento osmótico previo a la liofilización de rodajas de banana. Dado el destino potencial del producto como “*snack*” la trehalosa permite conservar el atributo de crocancia en condiciones de HR % más elevadas que la sacarosa. Además, la trehalosa inhibe la cristalización de azúcares en el almacenaje y posee un efecto favorable sobre los atributos sensoriales de aroma y sabor.



## RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo la caracterización de las propiedades sensoriales y físico-químicas de un snack de banana liofilizada, con tratamiento previo de deshidratación osmótica (DO) en una solución concentrada de trehalosa. A los efectos de comparación también se estudió el uso de sacarosa en la DO previa a la liofilización. Las muestras obtenidas se caracterizaron en términos de: cinética de absorción de humedad, color, textura instrumental y perfil sensorial. Los resultados demostraron que el tratamiento con trehalosa presentó ventajas en comparación con la sacarosa. Las muestras impregnadas con trehalosa presentaron mayor temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) en el producto liofilizado, menor índice de pardeamiento cuando las muestras fueron expuestas a 38°C durante 45 días.

Se encontraron diferencias en las propiedades mecánicas entre las muestras con sacarosa (SAC) y trehalosa (TRE) cuando se almacenaron 22% y 33%HR. En efecto, a 33% se observó pérdida de crocancia en la muestra SAC mientras que la muestra TRE mantuvo su crocancia. Este comportamiento se atribuye a cristalización de la sacarosa mientras que la trehalosa se mantuvo en estado amorfo.

Se encontraron diferencias de percepción entre las muestras SAC y TRE. El perfil descriptivo mostró que estas diferencias fueron dadas por el sabor a dulce, la intensidad del color amarillo, la rugosidad, la dureza medida con los dedos y la adhesividad en la superficie que presentaron mayores valores para la muestra SAC. Pero en lo que hace a los atributos aroma a banana, sabor a banana, crocancia y dureza medida con los dientes las muestras no hubo diferencia. La prueba hedónica mostró un efecto significativo en el orden de evaluación, siendo las muestras que se presentaban en primer orden (SAC o TRE) las de mayor puntuación y aceptación sensorial en comparación con las muestras evaluadas en segundo orden. El uso de la sacarosa presentó mejor aceptabilidad sensorial e intención de compra y preferencia global en comparación con las muestras TRE, sin importar el orden de evaluación por los consumidores.

Probablemente, la mayor ventaja del uso de la trehalosa como agente osmótico en lugar de la sacarosa, reside en que el producto puede mantener su crocancia a actividades de agua un poco mayores. Y esto es un punto muy importante cuando se trata de un producto que tiene como destino su uso como snack, en el cual la crocancia es altamente apreciada por el consumidor.

## **BIBLIOGRAFIA**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade P. Ricardo D., Lemus M Roberto., and Perez C. Carmen E. (2011). Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. *Revista de la facultad de química farmacéutica*. 325-334.
- Anzaldúa- Morales A. (1994). *La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica*. Zaragoza, España. Acribia.
- Arslan, N., and Togrul, H. (2006). The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity, *Journal of Stored Products Research*. 42(2), 112-135.
- Artés, F., Castañer, M., and Gil M.I. (1998). Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. *Food Science and Technology International*, 4: 377-389.
- Aktas, T., Yamamoto, S. and Fujii, S. (2004). Effects of pre-treatments on rehydration properties and microscopic structure changes of dried vegetables, *Japan Food Engineering*, 5(4), 267–272.
- Aktas T., Fujii S., Kawano Y., and Yamamoto S. (2007). Effects of pretreatments of sliced vegetables with trehalose on drying characteristics and quality of dried products. *Food and Bioproducts Processing*. 85(C3), 178–183.
- Alzamora, S.M., Cerrutti, P., Guerrero, S., and López-Malo, A., "Minimally processed fruits by combined methods". En Food Preservation by Moisture Control - Fundamentals and Applications (International Symposium on the Properties of Water - ISOPOW Practicum II, June 19-24, 1994, México) (pp. 463-492). Eds. J. Welti-Chanes and G. Barbosa-Cánovas. Technomic Pub. Co., Lancaster, USA, 1995, ISBN 1-56676-358-4.
- ASTM Committee E-18, Manual on Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation. manual series: MNL 13. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992.
- Badui, S. D. (1999). *Química de los alimentos* (Tercera ed.). México: Addison Wesley Longman
- Bate Smith, E.C. (1954). Detection and identification o anthocyanidins formed from leucoanthocyanidins in plants tissues. *Biochemical. Journal*, 58(1):122-125.

- BeMiller, J. N., and Whistler, R. L. (2000). *Carbohidratos*. En Fennema, O. R. and Tannenbaum S. R. (2000). *Química de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia S.A.
- Bhandari, B.R., Bheshe, R., Datta, N. and Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rice foods. *Drying Technology An International Journal*, 15(2), 671–684.
- Boudhrioua, N., Michon, C., Cuvelier, G., and Bonazzi, C., (2002). Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying. *Journal of Food Engineering* 55 (2), 115–121.
- Buera M. D. P., Hough G., Martinez E. and Resnik S. (1991). Colorimetric, spectrophotometric and sensory color measurements of dulce de leche. *Anales de la Asociación de Química Argentina*, 78, 291-299.
- Buera, P., Schebor, C., and Elizalde, B.(2005). Effects of carbohydrate crystallization on stability of dehydrated foods and ingredient formulations. *Journal of Food Engineering* 67(1-2)157-165.
- Cardona, S., Schebor, C., Buera, M. P., Karel, M., & Chirife, J. (1997). Thermal Stability of Invertase in Reduced-Moisture Amorphous Matrices in Relation to Glassy State and Trehalose Crystallization. *Journal of Food Science*, 62(1), 105–112. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04378.x>.
- Casim, S. M. (2011). *Enriquecimiento de manzana con calcio : efecto en las propiedades físico-químicas y estructurales durante el secado en corriente de aire*. (Tesis doctoral) Universidad de Buenos Aires.
- Ceballos Peñaloza, A. M. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta*. (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Colombia.
- Comission International de l'Éclairage (CIE).(1993). "Comision Internationale de l'Éclairage". CIE Symposium of Advanced Colorimetry, Viena.Chapman, K. W., Lawless, H. T., & Boor, K. J. (2001). *Quantitative descriptive analysis and principal component analysis for sensory characterization of ultrapasteurized milk*. *Journal of Dairy Science*, 84(1), 12–20.
- Chirifel, J., & Karel, M. (1973). Volatile Retention during Freeze Drying of Aqueous

- Suspensions of Cellulose and Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 21(6), 936–939.
- Chuzel, G. (1992). *Correlación entre actividad de agua y contenido de agua: equilibrio higroscópico e isoterma de sorción*. Paper presented at the Actividad de agua en alimentos, procesamiento y conservación mediante su control.
- Colaco, C.A.L.S. y Roser, B. (1994). Trehalose-a multifunctional additive for food preservation. In: *Food Packaging and Preservation* (edited by R. Heis). Pp. 123–140. London: Blackie Academic and Professional Press.
- Crowe, L. M., Reid, D. S., and Crowe, J. H. (1996). Is trehalose special for preserving dry biomaterials? *Biophysical Journal*, 71(4), 2087–93. [http://doi.org/10.1016/S0006-3495\(96\)79407-9](http://doi.org/10.1016/S0006-3495(96)79407-9)
- Crowe, J.H., Crowe, L.M., Oliver, A.E., Tsvetkova, N., Wolkers, W. and Tablin, F., (2001), *The trehalose myth revisited: Introduction to a symposium on stabilization of cells in the dry state*, *Cryobiology*, 43(2), 89–105.
- Della Rocca, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados : Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Della Rocca, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados : Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Depledge, F., (2009). *Évaluation sensorielle: manuel méthodologique*. Lavoisier.Paris.
- Eskin, N. A. M., Ho, C., & Shahidi, F. (2013). *Browning Reactions in Foods*. *Biochemistry of Foods* (Third Edit). Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-091809-9.00006-6>.
- Iglesias, H. A., J. Chirife, and M. P. Buera. (1997). Adsorption isotherm of amorphous trehalose. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 75(2):183-186.
- Intergovernmental Group on Bananas and Tropical Fruits-FAO. “Banana Market Review and Banana Statistics 2012-2013”. Roma, 2014.
- Iles, B. C., & Elson, C. R. (1972). Crispness of cereal. In Pomeranz, Y. (Ed.), *Advances in cereal science and technology*. (pp 1–19)
- Falade, K. O. and Awoyale, O. O. (2005). Adsorption isotherms and heat of sorption of fresh and preosmosed oven-dried bananas. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 3 (1), 96-101.
- Farroni, A. E. (2011). *Transformaciones estructurales y físico-químicas de maíces*

- argentinos en la producción de alimentos obtenidos por procesos de gelatinización-laminación.*(Tesis doctoral) Universidad de Buenos Aires.
- Favetto, G.J., Resnik, S. L., Chirife J., Ferro Fontan, C. (1983). Statistical evaluation of water activity measurements obtained with th Vaisala Humicap humidity meter. *Journal Food Science*. 48(2), 534-538.
- Fennema, O. R. and Tannenbaum S. R. (2000). *Química de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia S.A
- Fennema, Owen., 1996. Water and Ice. En: *Food Chemistry*, 3rd edition, Fennema, O. (Ed.), Marcel Dekker, New York.
- Fennema, Owen R. (1996) *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia, S.A. p.36, 48, 54-57, 58-59
- Galmarini, M. V. (2009). *Estudios sensoriales y fisico.quimicos del disacarido trehalosa en relacion a su uso como ingrediente funcionl en alimentos.*(Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires.
- Galmarini, M. V., Zamora, M. C., & Chirife, J. (2009). Gustatory Reaction Time and Time Intensity Measurements of Trehalose and Sucrose Solutions and Their Mixtures. *Journal of Sensory Studies*, 24(2), 166–181. <http://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2008.00201.x>
- Galmarini, M. V., Schebor, C., Zamora, M. C., & Chirife, J. (2009). The effect of trehalose, sucrose and maltodextrin addition on physicochemical and sensory aspects of freeze -dried strawberry puree. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(10), 1869–1876. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01890.x>
- Galmarini, M.V., Chirife, J., Zamora, M.C., Perez, A. 2008. Determination and correlation of the water activity of unsaturated, supersaturated and saturated trehalose solutions. *LWT - Food Science and Technology*, 41(4), 628-631.
- Genin, N. (1995). Analyse du Role de la Transition Vitreuse dans les Procédés de Conservation Agro-alimentaires. *Journal of Food Engineering*, 26(4), 391–408.
- Giangiaco R, D. T. and E. A. (1987). OSMOTIC DEHYDRATION OF FRUIT : BETWEEN FRUIT AND EXTRACTING SYRUPS1. *Journal on Food Processing and Preservation*, 11(MI), 183–195.
- Gomez, P. L. (2010). *Procesamiento mínimo de manzana : efecto de la radiación UV-C y*

- la luz pulsada de alta intensidad sobre la calidad.*(Tesis doctoral).Universidad de Buenos Aires.
- Greenspan, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research the National Bureaus of Standards*. 81(1): 89- 96.
- Guerrero, S., Alzamora, S. M., & Gerschenson, L. N. (1996). Optimization of a Combined Factors Technology for Preserving Banana Puke to Minimize Colour Changes Using the Response Surface Methodology. *Journal of Food Engineering*, 28(3-4), 1-16.
- Guerrero Eraso, C. A. (2009). Inhibición de la actividad enzimática de la polifenol oxidasa extraída del banano (Cavendish valery) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico. (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia.
- Harnkarnsujarit, N., and Charoenrein, S. (2011). Influence of collapsed structure on stability ob  $\beta$ -carotene in freeze-draid mangoes. *Food Research International*. 44(10), 3188-3194.
- Higashiyama, T. (2002). Novel functions and applications of trehalose \*. *Pure and Applied Chemistry*, 74(7), 1263-1269.
- Iglesias, H. A., Chirife, J., and Buera, M. P. (1997). Adsorption Isotherm of Amorphous Trehalose. *Journal of the science of Food and Agriculture*. 75(2), 183-186.
- Jouppila, K., and Roos, Y.H.. (1994). Glass Transitions and Crystallization in Milk Powders. *Journal of Dairy Science*. 77(10), 2907-2915.
- Katz, E. E., and Labuza, T. P. (1981). Effect of Water Activity on the Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Products. *Journal of Food Science*. 46(2), 403-409.
- Karelovic Martínez, F. I. (2012). *Influencia del método de congelamiento en el daño icroestructural de arándanos liofilizados.*(Tesis de pregrado). Universidad de Chile.
- Kayisu, K.; Hood, L.F. and Vansoest, P.J. (1981). Characterization of starch and fiber in banana fruit. *Journal of Food science*, 46(6): 1885-1890.
- Kaymak Ertekin F. and Sultanoglu, M. (2001). Moisture sorption isotherm characteristic of peppers. *Journal of food engineering*, 47(3). p 225 – 231.
- Kilcast, D. (2013). *guideInstrumental assessment of food sensory quality. A practical* (2nd ed.). Woodhead Publishing. <http://doi.org/10.1533/9780857098856.1.103>.



- Ketiku. Adegboyega O. (1973). Chemical composition of unripe (green) and ripe plantain (Musa paradisiacal). *Journal of the science of food and agriculture*. 24 (6). p 703- 707.
- Komes, D., Lovrić, T., Ganić, K. K., & Gracin, L. (2003). Study of trehalose addition on aroma retention in dehydrated strawberry puree. *Food Technology and Biotechnology*, 41(2), 111–119.
- Kopjar, M., Piližota, V., Hribar, J., Simčič, M., Zlatič, E., & Tiban, N. N. (2008). Influence of trehalose addition and storage conditions on the quality of strawberry cream filling. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 341–350. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.011>
- Krokida M.K., Karathanos V.T. and Maroulis Z.B. (1998),Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products, *Journal of Food Engineering*, 35(4), p 369-380.
- Krokida, M., Oikonomopoulou, V., and Karathanos, V. (2011). Evaluation of Structural Properties of Freeze-Dried Food Products. *European Drying Conference- EuroDrying 2011.*, (October), 26–28.
- Leslie, S. B., E. Israeli, B. Lighthart, J. H. Crowe, and L. M. Crowe. (1995).Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. *Appl. Environ. Microbiol.* 61:3592-3597.
- Levy, C.M. and Koster, E.P. (1999). The relevance of initial hedonic judgements in the prediction of subtle food choices. *Food Quality and Preference*. 10 (3). P 185-200.
- Levine, H. y Slade, L. (1986). Polymer physico-chemical approach to the study of commercial starch hydrolysis products. *Carbohydrate Polymers*, 6(3), 213-244.
- Levine, H. and Slade, L. (1992a). Glass transitions in foods. In *Physical Chemistry of Foods*, H.G Schwartzberg and R.W. Hartel (Ed.), p. 83–221. Marcel Dekker, New York.
- Lewicki, P. P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 483–495. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00219-X](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00219-X)
- Leon. A.R., Carriere. K.C. (2005) A generalized Mahalanobis distance for mixed data. *Journal Multivariate Analysis*. 92(1): 174 – 185.

- Ling, H.I., Birch, J., Lim, M., (2005). The glass transition approach to determination of drying protocols for color stability in dehydrated pear slices. *International Journal of Food Science and Technology* 40 (9), 921–927.
- Lozano, R. (1978). *El color y su medición*. America Lee, Buenos Aires, Argentina.
- Lu, R. (2013). Principles of solid food texture analysis Instrumental assessment of food sensory quality, *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality*. A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 103-128 .
- MacDougall, D.B. (2002). Colour measurement of food. En: MacDougall, D.B. (ed.), *Colour in food. Improving quality*, CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
- Manresa González, A. & Vicente, I. (2007). *El color en la industria de los alimentos*, Ed. Universitaria, La Habana, Cuba
- Martinez-Navarrete, Nuria; Moraga, Gemma; Talens, Pau and Chiralt, A. (2004). Water sorption and the plasticization effect in wafers. *International Journal of Food Science and Technology*, 39(5), 555–562. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00815.x>
- Makower, B., and Dry, W. B. (1956). Sugar Crystallization, Equilibrium Moisture Content and Crystallization of Amorphous Sucrose and Glucose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 4(1), 72-77.
- Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. (1999). *Sensory Evaluation Techniques*. Florida: CRC Press LLC.
- Ministerio de Agricultura y Riesgo (MINAGRI)(2014). Tendencias de la producción y el comercio del banano en el mercado internacional y nacional. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria recuperado de (Lima, Peru. 2014), [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj-1q-Awd\\_WAhUCQSYKHWYzCiAQFggUAA&url=http%3A%2F%2Fminagri.gob.pe%2Fportal%2F analisis-economico%2F analisis-2014%3Fdownload%3D6607%3Ael-banano-peruano&usg=AOvVaw2mOuslqKTNMtDyqm0RD\\_E](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj-1q-Awd_WAhUCQSYKHWYzCiAQFggUAA&url=http%3A%2F%2Fminagri.gob.pe%2Fportal%2F analisis-economico%2F analisis-2014%3Fdownload%3D6607%3Ael-banano-peruano&usg=AOvVaw2mOuslqKTNMtDyqm0RD_E)
- Montero, Eduardo Castro., Hombro, M. R. A. (2007). *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*. Universidad de Chile.
- Moraga, G., Talens, P., Moraga, M. J., & Martínez-Navarrete, N. (2011). Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-

- dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*, 106(3), 212–219.
- Multon, Jean. Louis., Bizot Hervé. (1980). Water Adsorption in Cereal Food and Water Activity Measurement. *Cereals for Food and Beverages. Recent progress in Cereals Chemistry and Technology*. p.97-119
- Nieto, Andrea B; Vicente, Sebastián; Hodara, Karina; Castro, María A; Alzamora, S. M. (2013). Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 104–114. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.032>
- Palmer, James, K. (1963). Banana Polyphenoloxidase. Preparation and Properties. *Plant Physiology American society of plant biologists*. 38(5), 508-513.
- Peleg, M.(1983). "Stress and strain activated fracture elements". *Journal of Texture Studies*. 14(2), 87 - 98.
- Peleg, M. (1980). Theoretical analysis of the relationship between mechanical hardness and its sensory assessment. *Journal of Food Science*. 45(5), 1150-1156.
- Pitt, R. E. (1992). Viscoelastic properties of fruit and vegetables, In viscoelastic Properties of foods , M. A. Rao and J. F Steffe, eds London. *Elsevier Applied Science*. 49-76.
- Pizzocaro, F., Torreggiani, D. y Gilardi, G. (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation*. 17(1): 21-30.
- Ponting, J.D.(1973). *Osmotic dehydration of fruits: recent modifications and applications*. *Process Biochemistry-US*, 8,18.
- Quevedo, R., Díaz, O., Ronceros, B., Pedreschi, F., & Aguilera, J. M. (2009). Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. *Food Research International*, 42(9), 1309–1314. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.04.004>
- Rahman, S. (1995). *Food properties handbook*. Florida: CRC Press, Inc. p.34
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration : methods to enhance mass transfer. *Food Science & Technology*, 13 (2), 48–59.
- Rios C, CÉSAR A., (2004). *Estudio de factibilidad económica para el procesamiento, comercialización de snacks de frutas deshidratadas en el cantón machala*. (Tesis de

ingeniero agrónomo). Universidad técnica de Machala. Facultad de ciencias agropecuarias

- Kayisu, K.; Hood, L.F. and Vansoest, P.J. (1981). Characterization of starch and fiber in
- ROESSLER, E.B., R. M. Pangborn, J. L.. Sidel, and H. Stone. (1978). Expanded statistical tables for estimating significance in paired – preference, paired – difference, duo – trio and triangle tests. *Journal of Food Science* 43(3), p 940 – 941.
- Roudaut, G., Dacremont, C., Valles Pamies, B., Colas, B., and Le Meste, M., (2002). Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology*. 13(6-7), 217-227.
- Rosas Mendosa M. E., Fernandez Muños, J. L., y Arjona Roman, J.L. (2011). Glass transition changes during osmotic dehydration. *SciVerse Science Direct. Procedia Food Science* 1: 814 - 821.
- Rossi. S.; Buera. M. P .; Moreno. S.; and Chirife. J. (1997). Stabilization of the Restriction Enzyme EcoRI Dried with Trehalose and Other Selected Glass-Forming Solutes. *Biotechnology progress*. 13 (5). p 609 - 616.
- Roos, Y. (1993). Melting and glass transitions weight carbohydrates of low molecular. *Carbohydrate Research*, 238, 39–48.
- Roos, Yrjö H; Roininen, Katariina; Jouppila, Kirsi y Tuorila, H. (1998). Glass transition and water plasticization effects on crispness of a snack food extrudate. *International Journal of Food Properties*, 1(2), 163–180.
- Roos, Y. and M. Karel. 1991. Applying state diagrams to food processing and development. *Food Technology* 45 (12):66, 68-71, 107.
- Roos, Y. and Karel, M. 1991a. Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. *Journal of Food Science*. 56 (1).. 38 - 43.
- Roos, Y. (1993). Melting and glass transitions weight carbohydrates of low molecular. *Carbohydrate Research*, 238 (15), 39–48.
- Roos, Y. H. (1995). Phase Transitions. *Food Engineering*, 1, 1–9.
- Santagapita, P. R. (2010). *Estabilidad de enzimas en medios de movilidad molecular . Impacto de interacciones con azúcares y biopolímeros y de la encapsulación*. Universidad de Buenos Aires.
- Saurelt, Rémi; Raoult-Wack, Anne-Lucie; Rios, G. & G. S. (1994). Mass transfer

- phenomena during osmotic dehydration of apple I . Fresh plant tissue. *Food Science & Technology*, 29(5), 531–542.
- Slade, L. y Levine, H. (1991). Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30 (2-3), 115-360.
- Sperling, L. 1986. Introduction to physical Polymer Science. New York: Jhon Wiley y Sons.
- Stanley DW.(1986) Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. *Food Technology*.;13 (1), :65–76.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [http://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](http://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Szczesniak, A. S. (1998). Sensory texture profiling—Historical and scientific perspective. *Food Technology*. 52:54-57.
- Szczesniak, A. S. (1986). Review Paper: Correlating Sensory With Instrumental -an Overview of Recent Developments. *Journal of Texture Studies*, 18(), 1–15. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1987.tb00566.x>
- Szczesniak, A.S. (1973), Instrumental methods for texture measurements, in: *Texture Measurements of Foods*, Kramer, A and Szczesniak, A.S eds., D. Reidel publ. company, Dordrecht, Boston, pp 71-108.
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science*. 28(4), 385-389.
- Schiffman H. R. (1996). *Sensation and Perception. An Integrated Approach*. New York, John Wiley & Sons.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, second edition (second printing). Freeman Press, East Lansing, MI, USA.. [En línea]. Disponible en:<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmXqZnN0ZWZmZXxneDo1NDdlZTMwMzg2ZTk1MzQx> Capítulos 2, 3 y 4 libro *Rheological Methods in Food Process Engineering*
- Stone, H. y Sidel, J.L. (2004). *Sensory Evaluation Practices*. Third Edition, Elsevier Academic Press. USA.
- STONE, H., SIDEL, J., OLIVIERS, S., WOOSLEY, A., and SINGLETON, R. C.(1974). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology*,24-28.

- STONE, H., SIDEL, J. L.(1998). Quantitative Descriptive Analysis: Developments, Applications, and the Future. *Food Technology*, 52 (8), 48-52.
- Stone H, Sidel J. (1993). Sensory evaluation practice. 2nd ed. London: Academic Press. 337
- Schebor, C., Buera, M.P., and Chirife, J. (1997). Glassy state in relation to the thermal inactivation of enzyme invertase in amorphous dried matrices of trehalose, maltodextrin and PVP. *Journal of Food Inginnering*. 30(3-4), 269-282.
- Silva, Paz. Reynald J., Denoya, Gabriela I., Languasco, Juan M., Della, R. P. A. (2013). Evaluación de los parámetros de color y de textura del zapallo anco (Cucurbita moschata,D.) sometido a diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. *Publicaciones de La Facultad Regional Buenos Aires*, 11(1), 69–80.
- Simperler, A., Kornherr, A., Chopra, R., Bonnet, P. A., Jones, W., Motherwell, W. D. S., & Zifferer, G. (2006). Glass transition temperature of glucose, sucrose, and trehalose: an experimental and in silico study. *The Journal of Physical Chemistry. B*, 110(39), 19678–84. <http://doi.org/10.1021/jp063134t>
- Slade, L. and Levine, H. (1991). Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30(2-3), 115-360.
- Sonthipermpon, W. (2006). *Development on Banana Flake Product: Effects of Water Activity and Glass Transition on Quality and Product Stability*. Kasetsart University.
- Tsami, E., Marinos-Kouris, D., and Maroulis, Z. B. (1990). Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes andapricots. *Journal of Food Science*, 55(6), 1594–1597.
- Telis, V. R. N., & Sobral, P. J. a. (2001). Glass Transitions and State Diagram for Freeze-dried Pineapple. *LWT - Food Science and Technology*, 34(4), 199–205.
- Uritani, M., M. Takai, and K. Yoshinaga. 1995. Protective effect of disaccharides on restriction endonucleases during drying under vacuum. *J. Biochem.* 117:774-779.
- Karmas, R. 1994. The effect of glass transition on non-enzymatic browning in dehydrated food systems. Doctor Philosophy Thesis, Rutgers University of New Jersey, New Brunswick, New Jersey, U.S.A..
- Varela, P., & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food*

- Research International, 48(2), 893–908. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>
- Whelan, A.P., Regand, A., Vega, C., Kerry, J.P. y Goff, H.D. 2008. Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 510-516.
- Zhang, X.; Xie Liu, De-Xiang Gu, Wei Zhou, Renli Wang, Pen Liu. (1996). Desorption Isotherms of Some Vegetables. *Journal Science Food Agriculture*, 70(3), 303-306.
- Zhong, Kui; Wu, Jihong; Wang, Zhengfu; Chen, Fang; Liao, X., & Hu, Xiaosong; & Zhang, Z. (2007). Inactivation kinetics and secondary structural change of PEF-treated POD and PPO. *Food Chemistry*, 100(1), 115–123. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.035>

## **ANEXO**

## 7. ANEXOS

Tabla 4.4.1. Correlación de las variables cromáticas por Pearson

	a*	b*	L	H	C
a*	1,00	3,5 E - 10	0,00	0,00	4,0 E-03
b*	-0,23	1,00	5,6 E -05	0,00	0,00
L	0,69	-0,15	1,00	0,00	2,3 E-10
H	-1,00	0,30	0,65	1,00	6,1 E-07
C	-0,11	0,99	-0,23	0,18	1,00

Tabla 4.4.2. Correlación de las variables cromáticas por Spearman

	a*	b*	L	H	C
a*	1,00	4,4 E-04	0,00	0,00	0,96
b*	-0,13	1,00	5,8 E-04	1,1 E-05	0,00
L	-0,78	-0,13	1,00	0,00	1,3 E-09
H	-1,00	0,16	0,77	1,00	0,34
C	-2,0 E -03	0,99	-0,22	0,04	1,00

Tabla 4.4.3. Autovalores

Autovalores	%	% acumulado
5,10	82,00	82,00
1,12	18,00	100,00



Tabla 4.4.4. Funciones discriminantes- datos estandarizados con las variables comunes

	1	2
L	-0,30	0,56
a*	1,41	7,13
b*	-1,81	--0,02

Tabla 4.4.5.: Autovalores

Autovalores	%	% acumulado
50,08	95,46	95,46
2,38	4,54	100,00

Tabla 4.4.6. Funciones discriminantes- datos estandarizados con las variables comunes

	1	2
L	-0,02	0,66
a*	1,81	-0,11
b*	-1,67	-0,44

**Tabla 4.4.7.:** Coeficientes de correlación no paramétricos de Spearman y de asociación lineal de Pearson de las variables mecánicas evaluadas  $f_R$ ,  $d_R$ ,  $W$  y  $Y$  en las muestras CTRL, SAC Y TRE.

Correlación Spearman	$\text{Log}_{10} d_R$	$\text{Log}_{10} W$	$\text{Log}_{10} Y$	$f_R$
$\text{Log}_{10} d_R$	1,00	0,00	0,00	0,05
$\text{Log}_{10} W$	0,92	1,00	1,2 E-09	9,1 E-05
$\text{Log}_{10} Y$	-0,73	-0,62	1,00	0,49
$\text{Log}_{10} f_R$	0,20	0,40	-0,07	1,00
Correlación Pearson	$\text{Log}_{10} d_R$	$\text{Log}_{10} W$	$\text{Log}_{10} Y$	$f_R$
$\text{Log}_{10} d_R$	1,00	0,00	0,00	0,15
$\text{Log}_{10} W$	0,94	1,00	4,6 E-11	2,4 E-04
$\text{Log}_{10} Y$	-0,75	-0,61	1,00	0,85
$\text{Log}_{10} f_R$	0,15	0,36	-0,02	1,00

**4.4.8 y 4.4.9.:** Autovalores de la matriz de grupos y funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común correspondiente al análisis AFD de las propiedades mecánicas obtenidas de la curva de penetración en las bananas liofilizadas con tratamiento osmótico (sistema SAC y TRE) o sin tratamiento osmótico (sistema CTRL)

<b>Tabla 4,4.8</b>			
Autovalores de la matriz de grupos			
Función Discriminante	Valor	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
1	<i>1,84</i>	<i>98,33</i>	<i>98,33</i>
2	<i>0,03</i>	<i>1,67</i>	<i>100,00</i>

<b>Tabla 4,4.9</b>		
Funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común		
	1	2
$f_R$	<i>-0,18</i>	<i>0,98</i>
$\text{Log}_{10}d_R$	<i>0,91</i>	<i>0,08</i>
$\text{Log}_{10}Y$	<i>-0,18</i>	<i>0,15</i>

**ANEXO 4.4.10:** Coeficientes de correlación no paramétricos de Spearman y de asociación lineal de Pearson de las variables mecánicas evaluadas ( $f_R$ ,  $d_R$ ,  $W$  y  $Y$ ) en las muestras control, SAC Y TRE a través del periodo de almacenamiento a 38°C.

Correlación Spearman	$\text{Log}_{10} d_R$	$\text{Log}_{10} W$	$\text{Log}_{10} Y$	$f_R$
$\text{Log}_{10} D_R$	1,00	0,00	0,00	0,62
$\text{Log}_{10} W$	0,91	1,00	0,00	2,0 E-07
$\text{Log}_{10} Y$	-0,66	-0,47	1,00	0,01
$\text{Log}_{10} F_R$	0,03	0,31	0,15	1,00
Correlación Pearson	$\text{Log}_{10} D_R$	$\text{Log}_{10} W$	$\text{Log}_{10} Y$	Fuerza
$\text{Log}_{10} D$	1,00	0,00	0,00	0,75
$\text{Log}_{10} W$	0,92	1,00	0,00	2,8 E-08
$\text{Log}_{10}$ Modulo Young	-0,64	-0,44	1,00	9,4 E-04
$\text{Log}_{10} F_R$	0,02	0,32	0,20	1,00

**ANEXO 4.4.11 y 4.4.12:** Autovalores de la matriz de grupos y funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común correspondiente al análisis AFD de las propiedades mecánicas obtenidas de la curva de penetración en las bananas liofilizadas con tratamiento osmótico (sistema SAC y TRE) o sin tratamiento osmótico (sistema CTRL) durante el tiempo de almacenamiento cero, 15 y 30 días a 38°C.

<b>Tabla 4.4.11</b>			
Autovalores de la matriz de grupos			
Función Discriminante	Valor	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
1	1,50	89,69	89,69
2	0,16	9,34	99,03
3	0,02	0,97	100,00

Tabla 4.4.12				
Funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común				
	1	2	3	4
Fr	-0,40	0,88	-0,43	-0,40
Log <sub>10</sub> Dr	0,91	0,30	0,69	0,91
Log <sub>10</sub> Y	-0,17	0,16	1,13	-0,17

**ANEXO 4.13:** Ubicación de los centroides en el espacio discriminante de los diferentes sistemas evaluados a través del tiempo de almacenamiento.

Sistema	Funciones discriminantes			
	1	2	3	4
CTRL	1,97	0,29	-0,05	-0,03
CTRL_15	1,50	0,03	0,35	0,02
CTRL_30	1,52	0,56	-0,29	-0,02
SAC	-0,72	-0,03	-5,0E-04	-0,04
SAC_15	-0,40	0,34	-0,06	0,09
SAC_30	-0,78	0,48	-0,20	-0,07
TRE	-1,05	-0,50	0,08	0,02
TRE_15	-1,24	-0,10	0,04	-0,14
TRE_30	-0,52	0,05	0,10	0,19

Sistema	Funciones discriminantes NUEVA TABLA		
	1	2	3
CTRL	1,91	0,36	0,12
CTRL_30	1,49	-0,52	-0,16
SAC	-0,78	0,01	0,01
SAC_30	-0,85	0,54	-0,19
TRE	-1,09	-0,47	0,07
TRE_30	-0,58	0,10	0,13

#### 4.5.3. Análisis de textura equilibradas a 0,22 y 0,33

**4.14:** Coeficientes de correlación no paramétricos de Spearman y de asociación lineal de Pearson de las variables mecánicas evaluadas ( $f_R$ ,  $d_R$ ,  $W$  y  $Y$ ) en las muestras control, SAC Y TRE equilibradas con la solución salina saturada de acetato de potasio.

Correlación Spearman	$\text{Log}_{10}d_R$	$\text{Log}_{10}W$	$\text{Log}_{10}Y$	$f_R$
$\text{Log}_{10} D_R$	1,00	0,00	0,00	4,9E-031
$\text{Log}_{10} W$	0,96	1,00	0,00	9,3E-09
$\text{Log}_{10}$ Modulo Young	-0,73	-0,64	1,00	0,64
$\text{Log}_{10} F_R$	0,17	0,34	0,03	1,00
Correlación Pearson	$\text{Log}_{10}d_R$	$\text{Log}_{10} W$	$\text{Log}_{10}Y$	$f_R$
$\text{Log}_{10} D$	1,00	0,00	0,00	0,07
$\text{Log}_{10} W$	0,97	1,00	0,00	4,9E-07
$\text{Log}_{10}$ Modulo Young	-0,74	-0,65	1,00	0,44
$\text{Log}_{10} F_R$	0,11	0,30	0,05	1,00

**4.15 y 4.16:** Autovalores de la matriz de grupos y funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común correspondiente al análisis AFD de las propiedades mecánicas obtenidas de la curva de penetración en las bananas liofilizadas con tratamiento osmótico (sistema SAC y TRE) o sin tratamiento osmótico (sistema CTRL) equilibradas en la solución de acetato de potasio.

<b>Tabla 4.15</b>			
Autovalores de la matriz de grupos			
Función Discriminante	Valor	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
1	4,99	84,69	84,69
2	0,68	11,48	96,17
3	0,23	3,83	100,00

<b>Tabla 4.16</b>			
Funciones discriminantes estandarizadas por la matriz de covarianza residual común			
	1	2	3
$F_R$	-0,01	-1,03	0,15
$LN D_R$	1,03	0,26	0,45
$\log_{10}$ Modulo de Young	0,07	0,47	1,08

**4.17:** Ubicación de los centroides en el espacio discriminante de los diferentes sistemas evaluados a diferentes humedades relativas.

Sistema	Funciones discriminantes NUEVA TABLA		
	1	2	3
CTRL	-0,09	0,46	-0,30
CTRL_22	0,14	0,19	-0,72
CTRL_33	3,31	0,89	-0,04

SAC	-2,20	0,43	0,31
SAC_22	-0,67	-1,94	-0,10
SAC_33	4,36	-0,12	-0,06
TRE	-2,67	0,76	0,20
TRE_22	-1,58	-0,13	-0,33
TRE_33	1,10	-0,26	1,08



#### 4.18. Planillas de evaluación

### Prueba Triangular

Nombre:

Fecha:

Apellido:

#### INSTRUCCIONES

Pruebe las muestras de izquierda a derecha. Determine cuál de las muestras es distinta, puede volver a probar cada muestra. Si no encuentra la diferencia Ud. deberá igualmente elegir una.

Muestras			Muestra diferente
256	412	851	

Explicar cuál es la diferencia que has notado en las muestras (textura, sabor, color...)

#### 4.19 Planilla para

Nombre:

Fecha:

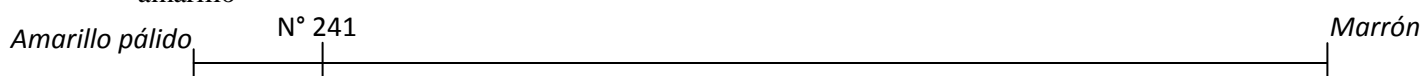
### Panel Banana – Perfil n°4

!/\ Usted recibirá tres set de tres muestras diferentes. Por favor, no de vuelta la rodaja y beba agua entre las mediciones.

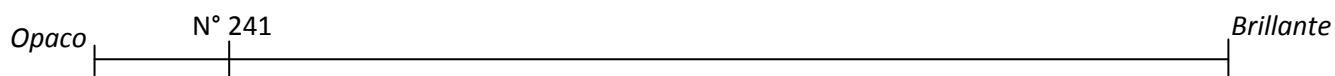
Utilice el primer set.

#### ➤ Parte 1 : Color

**Intensidad del color amarillo:** Mirar la superficie de la muestra y evaluar la intensidad del color amarillo

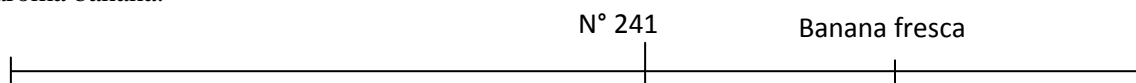


**Intensidad del brillo:** Mirar la superficie de la muestra y evaluar el brillo



#### ➤ Parte 2 : Sabor

**Intensidad aroma banana (nasal):** Debes oler la superficie de la muestra y evaluar la intensidad del aroma banana.

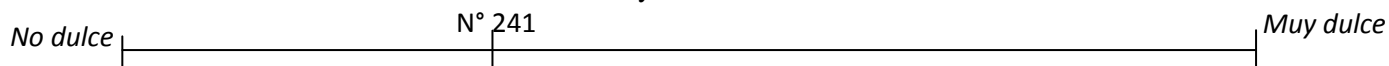


**Intensidad sabor banana:** Mastica la muestra durante algunos segundos y después evalúa la intensidad del sabor banana.



¿Sientes alguna sensación de regusto?(Regusto: la sensación que deja la muestra después de ser tragada)

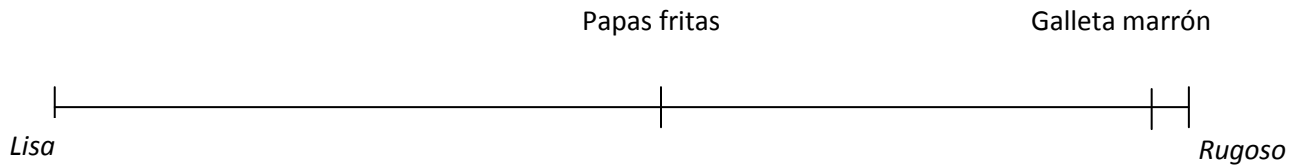
**Intensidad del sabor dulce:** Mastica la muestra y evalúa la intensidad del dulce.



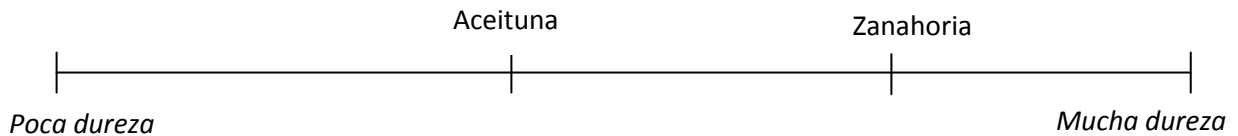
Utilice el segundo set

#### ➤ Parte 3 : Textura

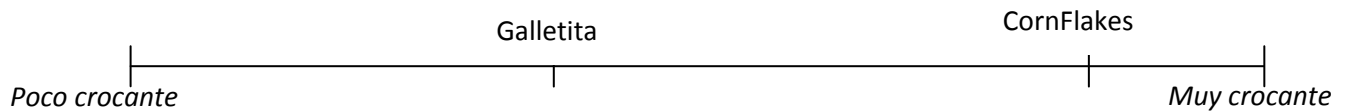
**Rugosidad con los dedos:** Evaluar la rugosidad de la muestra pasando el dedo índice sobre la superficie.



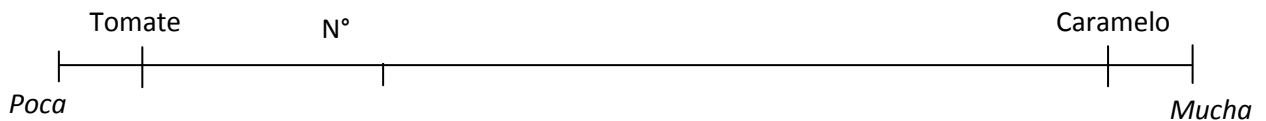
**Dureza con los dedos:** Tomar la muestra con las manos, fracturarla por el centro y evaluar su dureza.



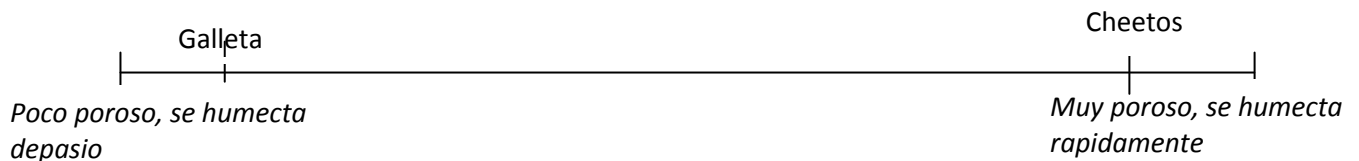
**Crocante o crujiente:** Evalúa la intensidad del sonido producido en la boca durante la primera mordida sobre la mitad de una rodaja.



**Adhesividad con los dedos:** Presionar la muestra con el índice y evaluar la adhesividad de la superficie de la muestra. Si se pega al dedo, la muestra es adhesiva.

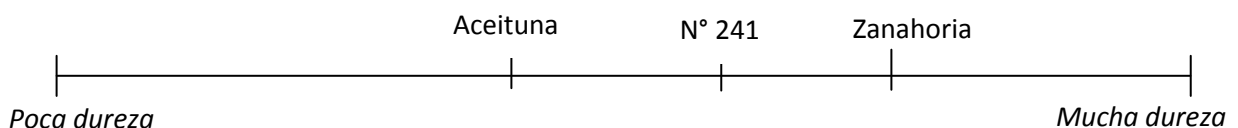


**Porosidad de la muestra – rapidez de humectación:** Poner la mitad de una rodaja en la boca, morder 2 veces con los molares y ponerla en la lengua. Evalúa la porosidad de la muestra y el tiempo para la humectación.

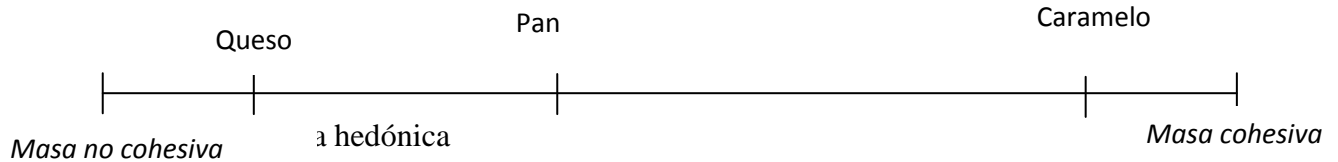


Utilice el tercer set

**Dureza con los dientes:** Fracturar la muestra con los incisivos y evaluar su dureza.



**Cohesividad de la masa:** Mastica la muestra en los molares progresivamente y evalúa la cohesividad de la masa



### Test de preferencia – Bananas liofilizadas

Nombre:

Edad:

Sexo: M o F

Fumas: Si o No

¿Consumís frutas?

2-3 veces al día / 1 vez al día / 2-3 veces al semana

¿Conoces los alimentos liofilizados? Si o No ¿Cuáles?

¿Consumís alimentos liofilizados?

1 vez al día / 2-3 veces a la semana / 2-3 veces al mes / 1 vez al año /

nunca

¿Consumís barras de cereales con frutas o cereales con frutas?

1 vez al día / 2-3 veces a la semana / 2-3 veces al mes / 1 vez al año /

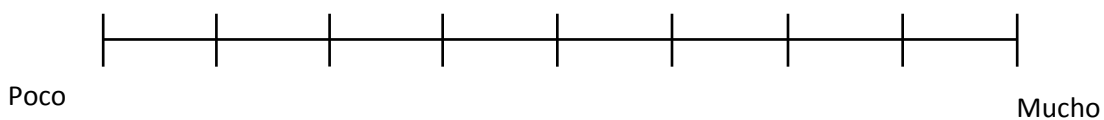
nunca

-----

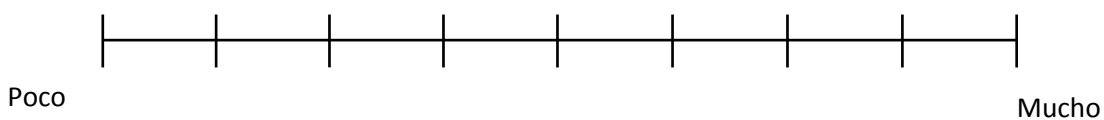
Marque su preferencia sobre **una de las marcas** de la escala

### Muestra n°

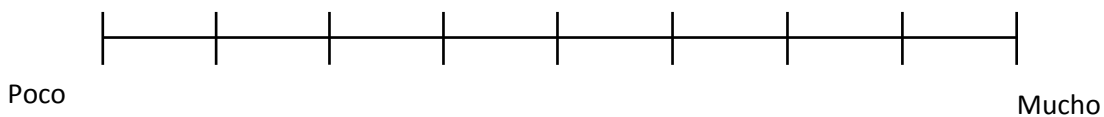
¿Cuánto te gusta la muestra?



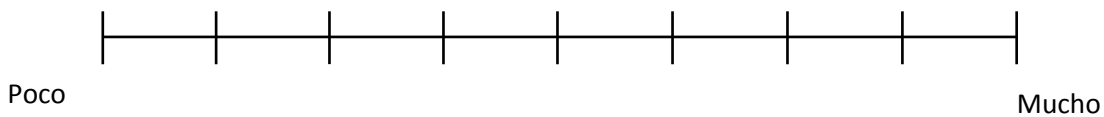
¿Cuánto te gusta el dulzor de la muestra?



¿Cuánto te gusta el sabor a banana?



¿Cuánto te gusta la dureza de la muestra?



**Intención de compra: lo volverías a consumir?**

- Seguramente lo compraría**
- Probablemente lo compraría**
- Tal vez si, tal vez no lo compraría**
- Probablemente no lo compraría**
- Seguramente no lo compraría**

Qué no te gustó de la muestra?