

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRITIVAS Y ORGANOLÉPTICAS
Y DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN EN LA DESHIDRATACIÓN
OSMÓTICA DE ZANAHORIA (*Daucus carota L.*) CON AGENTES
OSMÓTICOS COMBINADOS**

**PAULO MARCELO ARCINIEGAS CERÓN
ROLANDO MAURICIO PASAJE MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2004**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRITIVAS Y ORGANOLÉPTICAS
Y DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN EN LA DESHIDRATACIÓN
OSMÓTICA DE ZANAHORIA (*Daucus carota L.*) CON AGENTES
OSMÓTICOS COMBINADOS**

**PAULO MARCELO ARCINIEGAS CERÓN
ROLANDO MAURICIO PASAJE MUÑOZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título
de Ingenieros Agroindustriales**

**Directora
Ing. ZULLY XIMENA SUAREZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2004**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores.”

Artículo 1º del Acuerdo numero 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

ZULLY XIMENA SUAREZ
Directora

FRANCISCO ARGOTY
Jurado

DARIO PABÓN
Jurado

San Juan de Pasto, Mayo 19 de 2004

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Zully Ximena Suárez, Ingeniera Agroindustrial, Directora de la Investigación, por su valiosa orientación.

Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño.

Personal de la Planta Piloto.

Todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios, mi apoyo espiritual

A mi madre, la responsable de lo que soy como profesional y como persona

A mis hermanos, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida

A mis abuelos, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles

A mi sobrino Andrés, por convertirse en un motivo más para salir adelante

Marcelo

DEDICATORIA

A Dios

A la memoria de mi padre

A mi madre y mis hermanos

Por ellos y para ellos todos mis triunfos

Rolando

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	25
1. PROBLEMA	26
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	26
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
2. JUSTIFICACIÓN	28
3. OBJETIVOS	30
3.1 OBJETIVO GENERAL	30
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
4. MARCO TEORICO	31
4.1 GENERALIDADES SOBRE LA ZANAHORIA	31
4.1.1 Taxonomía	31
4.1.2 Morfología de la planta	31
4.1.2.1 Raíz	31
4.1.2.2 Forma y color	31
4.1.2.3 Tallos y hojas	31
4.1.2.4 Flores y semillas	32
4.1.3 Producción	32
4.1.4 Clima	32
4.1.5 Suelos y siembra	33

4.1.6	Enfermedades de la zanahoria durante el cultivo	33
4.1.7	Cosecha	33
4.1.8	Poscosecha	34
4.1.8.1	Selección	34
4.1.8.2	Clasificación	34
4.1.9	Empaque y embalaje	35
4.1.10	Almacenamiento	35
4.1.11	Características físicas y químicas	36
4.1.11.1	Características físicas	36
4.1.11.2	Características químicas	37
4.1.12	Características nutricionales	38
4.1.13	Deterioro de la zanahoria por la acción de microorganismos	39
4.2	DESHIDRATACIÓN	40
4.2.1	Deshidratación convectiva	42
4.2.1.1	Contracción y endurecimiento	43
4.2.1.2	Velocidad de desecación	43
4.2.1.3	Teoría general de la deshidratación convectiva	44
4.2.2	Deshidratación osmótica	46
4.2.2.1	Ósmosis	47
4.2.2.2	Transferencia de masa	51
4.2.2.3	Efecto de la deshidratación osmótica sobre las propiedades nutritivas y organolépticas	51
4.2.2.4	Agentes osmóticos	53

4.3	PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS	54
4.3.1	Características organolépticas	55
4.3.1.1	El color	55
4.3.1.2	La textura	55
4.3.1.3	El olor	55
4.3.1.4	El sabor	56
4.3.2	Pruebas para la evaluación de las propiedades organolépticas	56
4.3.2.1	Pruebas afectivas	57
4.3.2.2	Pruebas discriminativas	57
4.3.2.3	Pruebas descriptivas	57
4.3.3	JUECES	57
4.3.3.1	Juez experto	58
4.3.3.2	Juez entrenado	58
4.3.3.3	Juez semientrenado	58
4.3.3.4	Juez consumidor	58
4.4	PROPIEDADES NUTRITIVAS	59
4.4.1	Agua	59
4.4.2	Vitaminas	59
4.4.3	Minerales	61
5.	DISEÑO METODOLOGICO	62
5.1	LOCALIZACION	52
5.1.1	Macrolocalización	52

5.1.2	Microlocalización	52
5.2	EQUIPOS	52
5.3	HIPÓTESIS GENERAL	63
5.4	IDENTIFICACION DE VARIABLES	63
5.4.1	Variables independientes	63
5.4.2	Variables dependientes	63
5.4.3	Constantes	63
5.5	TRATAMIENTOS	63
5.6	PREPARACION DE LAS MUESTRAS	64
5.6.1	Material biológico	64
5.6.1.1	Madurez	64
5.6.1.2	Acondicionamiento	64
5.6.2	Soluciones osmóticas	65
5.6.3	Empaque	65
5.6.4	Condiciones del medio	66
5.6.5	Procedimiento	66
6.	EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE DESHIDRATACIÓN	67
6.1	DISEÑO EXPERIMENTAL	67
6.1.1	Hipótesis específica	67
6.1.2	Tiempo de deshidratación	67
6.1.3	Acondicionamiento de las muestras	67
6.1.4	Método de análisis de humedad	67

6.1.5 Secado convectivo de las muestras	70
6.1.6 Cálculo del tiempo de secado convectivo	71
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
7 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS	78
7.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	78
7.1.1 Hipótesis específica	78
7.1.2 Selección de jueces	78
7.1.2.1 Criterios de selección	78
7.1.2.2 Método de selección	79
7.1.2.3 Preparación de las muestras para la selección de jueces	79
7.1.2.4 Evaluación	79
7.1.2.5 Calificación	79
7.1.2.6 Análisis	80
7.1.2.7 Entrenamiento de los jueces	81
7.1.3 Pruebas de olor, sabor y textura	81
7.1.3.1 Horario para las pruebas	81
7.1.3.2 Acondicionamiento de las muestras	81
7.1.3.3 Cantidad de muestra	82
7.1.3.4 Codificación	82
7.1.3.5 Enmascaramiento del color	82
7.1.3.6 Ventilación	82
7.1.3.7 Muestra estándar o de referencia	82

7.1.3.8 Recipientes	83
7.1.3.9 Método de análisis y calificación	83
7.1.3.10 Realización de las pruebas de sabor, olor y textura	83
7.1.4 Pruebas para la evaluación del color	84
7.1.4.1 Condición de las muestras	84
7.1.4.2 Método de análisis y calificación	84
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
7.2.1 Evaluación del sabor	85
7.2.2 Evaluación del olor	91
7.2.3 Evaluación de la textura	92
7.2.4 Evaluación del color	94
8 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRITIVAS	97
8.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	97
8.1.1 Hipótesis específica	97
8.1.2 Evaluación del contenido de minerales	97
8.1.3 Evaluación del contenido de vitamina A	98
8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
8.2.1 Análisis del contenido de minerales	100
8.2.2 Análisis del contenido de vitamina A	101
9 EMPAQUE	102
9.1 CALIDAD DEL PRODUCTO EMPACADO	102
9.1.1 Calidad higiénica	103

9.1.2	Calidad nutritiva	103
9.1.3	Calidad organoléptica o sensorial	103
9.2	REQUISITOS DEL EMPAQUE COMO MEDIO DE CONSERVACIÓN	103
9.2.1	Inocuidad e inercia	103
9.2.2	Protección mecánica	103
9.2.3	Barrera frente al oxígeno y al vapor de agua	103
9.2.4	Barrera frente a las transferencias inversas	103
9.2.5	Transferencia de energía radiante	104
9.2.6	Transferencia de calor por radiación, convección y conducción	104
9.2.7	Protección frente a los microorganismos presentes en la atmósfera	104
9.2.8	Función de marketing	104
9.3	CONSIDERACIONES ESTABLECIDAS PARA LA ELECCIÓN DEL EMPAQUE	104
9.4	EMPAQUE SELECCIONADO	104
9.4.1	Polietileno de baja densidad (LDPE)	105
9.4.2	Polipropileno biorientado (BOPP)	105
9.4.3	Características del empaque BOPP/LDPE	106
9.4.4	Segundo empaque (caja de cartón duplex)	108
9.5	ANÁLISIS DEL PRODUCTO EMPACADO	108
9.5.1	Análisis microbiológico	108
9.5.2	Análisis de humedad	109
9.5.3	Análisis organoléptico	109

10. REHIDRATACIÓN	110
11. CONCLUSIONES	113
12. RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	119

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Variación °Brix-pH respecto al tiempo de ciclo vegetativo	37
Cuadro 2. Contenido nutricional de la zanahoria	38
Cuadro 3. Valores aproximados correspondientes al pH máximo y mínimo necesario para el crecimiento de microorganismos	40
Cuadro 4. Resultados análisis de humedad de las muestras	68
Cuadro 5. Variables de secado de la muestra testigo	72
Cuadro 6. Razón masa de humedad – masa de sólidos de la muestra testigo	73
Cuadro 7. Razón inicial y final masa de humedad – masa de sólidos secos de las muestras a analizar	75
Cuadro 8. Tiempos calculados para el secado convectivo de las muestras	76
Cuadro 9. Resultados de evaluación para la elección de jueces	80
Cuadro 10. Resultados de la evaluación sensorial del sabor	86
Cuadro 11. Resultados de la evaluación sensorial del olor	91
Cuadro 12. Análisis de varianza para los datos de la evaluación sensorial del olor	92
Cuadro 13. Resultados de la evaluación sensorial de la textura	93
Cuadro 14. Análisis de varianza para los datos de la evaluación sensorial de la textura	93
Cuadro 15. Resultados de la evaluación sensorial del color	94
Cuadro 16. Análisis de varianza para los datos de la evaluación sensorial del color	94
Cuadro 17. Resultados de la determinación de cenizas	100
Cuadro 18. Resultados de la determinación de vitamina A	101
Cuadro 19. Características de barrera del empaque BOPP/LDPE	107
Cuadro 20. Análisis microbiológico del producto empacado	108

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Curva de secado general en la deshidratación de alimentos	45
Figura 2. Principio osmótico	48
Figura 3. Equilibrio de potenciales químicos	49
Figura 4. Formula química de la sacarosa	54
Figura 5. Acondicionamiento de la zanahoria para el proceso de deshidratación osmótica	64
Figura 6. Empaque de la zanahoria con las soluciones osmóticas para el proceso de deshidratación	65
Figura 7. Curvas de deshidratación osmótica de las muestras	69
Figura 8. Deshidratación adicional de las muestras en un secador convectivo de bandejas	71
Figura 9. Curva de secado de la muestra testigo	74
Figura 10. Producto final empacado	107
Figura 11. Curva de rehidratación en vegetales osmodeshidratados con secado convectivo adicional	112

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Resultados iniciales del análisis de humedad de las muestras	120
ANEXO B. Cuestionario para pruebas de selección de jueces	124
ANEXO C. Cuestionario para la evaluación del sabor	125
ANEXO D. Cuestionario para la evaluación del olor	126
ANEXO E. Cuestionario para la evaluación de la textura	127
ANEXO F. Escala de intervalo para la medición del color	128
ANEXO G. Cuestionario para la evaluación del color	129
ANEXO H. Diagrama de flujo del proceso de deshidratación Osmótica	128

GLOSARIO

ACTIVIDAD ACUOSA: representa el agua disponible en los alimentos para la actividad bioquímica, enzimática o microbiana y determina la vida útil de un producto.

BACTERIAS HALOFÍLICAS: bacterias que pueden vivir en alimentos con altas concentraciones de sal

β-CAROTENO: es un tetraterpeno de fórmula $C_{40}H_{56}O$, es un sólido rojo precursor de la vitamina A. Cada molécula de caroteno que se consume es convertida en dos moléculas de vitamina A.

DESHIDRATACIÓN: operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua contenida en los alimentos, por evaporación aplicando calor, por difusión empleando membranas, o por separación simple empleando medios mecánicos.

DESHIDRATACIÓN CONVECTIVA: implica el uso de un gas como medio deshidratante, normalmente, aire caliente que es forzado a pasar sobre el alimento. La deshidratación se produce debido al gradiente de temperaturas entre el aire y la superficie del producto y al gradiente de presión entre la presión de vapor de la superficie del producto y la presión parcial del agua en el aire

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA: técnica de deshidratación de alimentos que utiliza como medio deshidratante una solución concentrada compuesta por solutos de alto peso molecular, que extrae el agua del producto por diferencia de potenciales químicos.

GRAMAJE: peso de un metro cuadrado de cartón expresado en gramos

HUMEDAD RELATIVA: es la razón entre el contenido efectivo de vapor de agua en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura.

LEVADURAS OSMOFÍLICAS: levaduras que pueden soportar concentraciones altas de sustancias ácidas.

MEMBRANA SEMIPERMEABLE: membrana que ubicada dentro de una solución, permite la difusión de agua en uno y otro sentido, pero restringe el paso del soluto.

MOHOS XEROFÍLICOS: mohos que se desarrollan en alimentos deshidratados.

PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO: oscurecimiento de los alimentos ocasionado por la acción de enzimas.

PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO: oscurecimiento de los alimentos ocurrida por la oxidación de sustancias contenidas en ellos.

PROPIEDADES NUTRITIVAS: sustancias requeridas por el cuerpo humano como carbohidratos, proteínas y vitaminas que se encuentran en los alimentos.

PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS: cualidades de los alimentos tales como el color, sabor, textura y aroma

PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS O SENSORIALES: pruebas realizadas por un equipo de jueces para determinar la calidad sensorial (sabor, aroma, color, textura, etc.) de los alimentos.

SOLUCION OSMÓTICA: solución concentrada compuesta por solutos de alto peso molecular como azúcares, sales, alcoholes, etc.

SUSTANCIAS VOLÁTILES: sustancias responsables de algunas propiedades de los alimentos como el aroma y el contenido de vitaminas, que pueden perderse fácilmente por evaporación.

RESUMEN

En la presente investigación se evaluaron las propiedades nutritivas y organolépticas y la eficiencia de operación en la deshidratación osmótica de zanahoria (*Daucus carota* L.) con agentes osmóticos combinados de sacarosa y alcohol etílico a diferentes concentraciones.

Este trabajo se realizó en la ciudad de Pasto, Nariño, en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño.

La deshidratación osmótica se basa en la posibilidad de remover agua de una solución diluida contenida dentro de una membrana semipermeable por difusión hacia una solución concentrada que rodee esta membrana. Este método permite obtener un producto deshidratado muy similar en color, olor, sabor y propiedades nutritivas al producto fresco.

Los tratamientos experimentales fueron distribuidos así:

T_S: Solución de sacarosa de 65°Bx

T₁: Solución de sacarosa de 50°Bx + solución de alcohol etílico de 40°GL

T₂: Solución de sacarosa de 50°Bx + solución de alcohol etílico de 50°GL

T₃: Solución de sacarosa de 40°Bx + solución de alcohol etílico de 40°GL

T₄: Solución de sacarosa de 40°Bx + solución de alcohol etílico de 50°GL

T_A: Solución de alcohol etílico de 80°GL

En primer lugar se evaluó la eficiencia de operación en la deshidratación, determinando el tratamiento que mayor cantidad de agua eliminó del producto y el tiempo óptimo de deshidratación para todas las muestras.

Una vez encontrado el tiempo de deshidratación (2 semanas) se repitió el procedimiento con el fin de hallar la combinación osmótica que conservara mejor las propiedades nutritivas (contenido de minerales y vitamina A) sin alterar las propiedades organolépticas del producto.

Después de la deshidratación osmótica las muestras alcanzaron una humedad máxima del 49% por lo tanto fueron sometidas a un segundo método de deshidratación el cual se realizó en un secador convectivo de bandejas, con el fin de que el producto alcance un porcentaje de humedad lo suficientemente seguro para inhibir la actividad microbiana (20%).

El producto final fue empacado en bolsas de BOPP/LDPE de 18 x 25 cm cubierto por un segundo empaque (cajas de cartón duplex). Peso neto del producto 100 g.

El tratamiento que brindó los mejores resultados fue el T₄ (solución de sacarosa de 40°Bx + solución de alcohol de 50° GL).

ABSTRACT

In the present investigation, it was evaluated the nutritious and sensorial properties as soon as the efficiency of operation in the osmotic dehydration of carrot (*Daucus carota* L.) with combined osmotic solutions of etílico alcohol and saccharose to different concentrations.

This work was realized in the Department of Nariño, in the City of Pasto, in the facilities of the pilot plant, of the Faculty of Engineering Agroindustrial and in the specializing laboratories of the University of Nariño.

The osmotic dehydration is based in the possibility of remove water of a diluted solution contained within a membrane semipermeable by diffusion towers a concentrated solution that this membrane surrounds. This method allows obtaining a product very similar in color, scent, flavor and nutritious properties to the fresh product.

The experimental treatments were distributed in the following way:

T_S: solution of saccharose of 65°Bx

T₁: solution of saccharose of 50°Bx + solution of alcohol etílico of 40°GL

T₂: solution of saccharose of 50°Bx + solution of alcohol etílico of 50°GL

T₃: solution of saccharose of 40°Bx + solution of alcohol etílico of 40°GL

T₄: solution of saccharose of 40°Bx + solution of alcohol of etílico 50°GL

T_A: solution of alcohol etílico of 80°GL

In the first place, the efficiency of operation in the dehydration was evaluated determining the treatment that greater amount of water eliminated of the product in the smaller time.

Once found the time of dehydration (dos weeks) the procedure was repeats whit the purpose of finding the osmotic combinations that allowed to conserve the nutritious properties (vitamin A and minerals) and that as well does not alter the sensorial properties of the product.

Later of the osmotic dehydration the carrots reached a humidity of 49% therefore they had to be put under to a second method of dehydration which was made in a convective dryers of trays, whit the purpose that the product obtains a percentage of humidity sufficiently sure in order to inhibit the microbial activity (20%).

The final product was packaged in bags BOPP/LDPE of 18 x 25 cm cover by a second packing (cardboard boxes duplex). Net weight of the product 100g.

The treatment that the offered the best results in each one of the evaluated properties and at the some time it could result efficient like dehydrating solution was the T₄ (solution of saccharose of 40°Bx + solution of alcohol of 50°GL)

INTRODUCCIÓN

El aumento en popularidad del consumo de hortalizas frescas y los requerimientos mundiales de conservación de recursos, están forzando a la agroindustria a buscar nuevas técnicas de conservación para obtener productos con características similares a las frescas y que demanden menos energía para su estabilización a la vez que disminuyan costos de almacenamiento y transporte.

La eliminación de agua o deshidratación es la técnica más antigua e importante en conservación de alimentos. La practica más sencilla es la de secamiento directo al sol, empleada todavía hoy en día en zonas donde las condiciones climáticas así lo permiten.

Industrialmente los métodos de secado mas empleados son los de deshidratación con aire caliente por su alta eficiencia, sin embargo los productos tratados pueden sufrir alteraciones por el uso de temperaturas relativamente altas y la exposición por largos periodos de tiempo.

En el caso de la deshidratación de zanahoria (*Daucus carota L.*), hortaliza con un alto contenido de vitaminas y minerales, es fundamental buscar nuevas alternativas de secado que permitan obtener un producto conservando estas propiedades, que finalmente son las que le dan a la zanahoria la importancia que tiene en el mercado.

En los últimos años se ha desarrollado una nueva técnica de deshidratación que no requiere el empleo de altas temperaturas, esta técnica se conoce como deshidratación osmótica y se basa en la posibilidad de remover agua de una solución diluida contenida dentro de una membrana semipermeable por difusión hacia una solución concentrada que rodee esta membrana. El no empleo de altas temperaturas permite obtener un producto muy similar en color, sabor y contenido nutricional al producto fresco.

En la presente investigación se pretende evaluar variables diferentes a las evaluadas hasta ahora en investigaciones similares. Se trabajará con soluciones osmóticas combinadas de alcohol etílico y sacarosa a diferentes concentraciones y se determinaran las condiciones óptimas que hagan más eficiente el proceso de deshidratación osmótica de zanahoria sin afectar sus propiedades nutritivas y organolépticas.

1. PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La comercialización y distribución de zanahoria (*Daucus carota L.*) enfrenta un problema muy importante en la actualidad que es la producción excesiva en ciertas épocas del año, en estos casos debido al carácter perecedero del producto, este debe ser puesto rápidamente en el mercado ejerciendo una fuerte presión sobre el nivel de precios, lo cual se refleja en ingresos muy bajos para el agricultor.

Otro problema que deben enfrentar los cultivadores es el elevado porcentaje de pérdidas cosecha y poscosecha que asciende a 59.28%. Las pérdidas en cosecha están representadas por hombros verdes 14.85%, rajaduras 6.91%, daños por insectos 4.7%, diámetro y longitud 13.07%, bifurcaciones 5.51%, daños por enfermedades 0.23%, y pérdidas causadas por herramientas 0.41%; mientras que las pérdidas en poscosecha son beneficio y lavado 5.89%, empaque 2.82%, daño mecánico por transporte 3.75% y daño mecánico por manipulación 1.14% ¹.

Estos factores dificultan el desarrollo económico y social de los cultivadores, siendo necesaria la búsqueda de mecanismos que permitan reducir el nivel elevado de pérdidas. En este sentido la agroindustria proporciona herramientas útiles en el desarrollo de nuevas técnicas de conservación de alimentos, otorgando a estos productos un periodo de vida útil más prolongado, lo cual evita que deban ser comercializados inmediatamente después de la cosecha.

Las operaciones más importantes de conservación son las de deshidratación. La técnica de deshidratación con aire caliente es un método poco eficiente cuando se trata de conservar las propiedades nutritivas y organolépticas de un alimento, por esta razón la presente investigación se enfocó en la evaluación de un método de deshidratación más eficiente en este aspecto como lo es la deshidratación osmótica.

¹ MUÑOZ, W y HURTADO, J. Evaluación de las Pérdidas en el Manejo Cosecha y Poscosecha de la Zanahoria (*Daucus carota L.*) en el Departamento de Nariño. Pasto, 1994, p.27. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ingeniería Agronómica.

El factor principal que determina el éxito de la técnica de deshidratación osmótica es la identificación acertada de las soluciones osmóticas o deshidratantes que intervienen en el proceso. Se han probado diferentes soluciones osmóticas con diferentes tipos de solutos tales como sacarosa, alcohol etílico, maltodextrina y cloruro de sodio entre otros, variando los resultados de acuerdo a la naturaleza del producto estudiado.

La sacarosa es hasta el momento el soluto evaluado más eficiente como agente osmótico deshidratante, sin embargo presenta el inconveniente de que puede impartirle un sabor dulce al producto alterando así sus propiedades organolépticas².

Por otra parte, se han probado también soluciones de alcohol etílico como agentes osmóticos con muy buenos resultados. La principal ventaja del uso de estas soluciones es que son muy volátiles y utilizadas en concentraciones relativamente bajas pueden retirarse fácilmente del producto lo cual favorece la conservación de sus características organolépticas. La desventaja de estas soluciones radica en que debido a su bajo peso molecular no pueden extraer del producto un volumen de humedad similar al de los solutos mas eficientes como la sacarosa³.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

En el departamento de Nariño la zanahoria (*Daucus carota L.*) es un producto comercializado en fresco. Debido a su carácter altamente perecedero no puede permanecer mucho tiempo en el mercado sin sufrir alteraciones en su estructura. Esta situación unida a las elevadas pérdidas cosecha y poscosecha y la generación casi nula de valor agregado dificultan el desarrollo social y económico de la región.

²SCHUARTZ, Marco y SEPULVEDA, Marcela. Conservación de Frutas y Hortalizas por Métodos Combinados. Santiago de Chile: McGraw Hill, 1999. p.56.

³ ZAPATA MONTOYA, José y CASTRO QUINTERO, Gilberto. Cinética de la Deshidratación Osmótica de Piña con Alcohol Etilico [online]. Santa fe de Bogota, Colombia: Montoya, 2000 [consultado 20 de abril de 2003]. Disponible en internet: <URL: <http://www.jaibanauda.edu.co.html>>.

2. JUSTIFICACION

El Departamento de Nariño se caracteriza porque su economía se basa en el sector agrícola. La zanahoria es el segundo producto hortícola más importante del Departamento con una extensión de 760 Has cultivadas y un volumen de producción de 45.667 Ton/año⁴.

La zanahoria es un producto de gran demanda a escala nacional por su alto valor nutritivo. Es utilizada en la alimentación humana y animal y como precursor de vitaminas y minerales.

Siendo la zanahoria (*Daucus carota L.*) un producto altamente perecedero es conveniente implementar técnicas que permitan conservar el producto por más tiempo, de modo que se logre ampliar su periodo de vida útil beneficiando directamente a productores, distribuidores y consumidores.

Esta investigación plantea la identificación y estandarización de un método de conservación de las propiedades nutritivas y organolépticas de la zanahoria, mediante la implementación de la técnica de deshidratación osmótica.

Según Fellows: “las características nutritivas y organolépticas (textura, bouquet, aroma, forma y color) son para el consumidor los atributos más importantes de los alimentos. Son estas las que determinan las preferencias individuales por algunos productos en particular”⁵.

Constituye entonces un objetivo constante para la industria alimentaria el mejorar la tecnología de elaboración para conservar las características organolépticas de los productos, tratando de reducir al máximo las modificaciones que en ellos genera el proceso de elaboración.

⁴ SECRETARIA DE AGRICULTURA DEPARTAMENTAL DE NARIÑO. Consolidado Agropecuario y Pesquero. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño, 2002. p.71.

⁵ FELLOWS, Peter. Tecnología del Procesamiento de los Alimentos. Zaragoza: Acribia,1996. p. 10.

La deshidratación osmótica es una técnica que favorece la conservación de las características de los alimentos durante su procesamiento, facilita las operaciones de almacenamiento y distribución y genera a la vez valor agregado en la cadena productiva.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia en la deshidratación osmótica de zanahoria (*Daucus carota L.*) empleando agentes osmóticos combinados.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Estudiar diferentes combinaciones de alcohol etílico y sacarosa como soluciones osmóticas, variando la concentración de cada componente en la solución.

Identificar la solución osmótica mas eficiente como agente deshidratante y como agente conservador de las propiedades nutritivas y organolépticas de la zanahoria (*Daucus carota L.*).

Evaluar las propiedades nutritivas y organolépticas de la zanahoria osmodeshidratada de acuerdo al tratamiento más eficiente.

Determinar el contenido optimo de humedad de la zanahoria deshidratada en el cual se inhibe la actividad microbiana.

Determinar las condiciones de rehidratación más convenientes para el producto deshidratado.

Identificar el material apropiado para el empaque de acuerdo al grado de conservación del color, sabor, aroma, textura y contenido nutricional del producto durante el almacenamiento.

4. MARCO TEORICO

4.1 GENERALIDADES SOBRE LA ZANAHORIA

4.1.1 Taxonomía.

- Reino: plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopcida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Apiales
- Familia: Apiaceae
- Género: Daucus
- Especie: Daucus carota L.

4.1.2 Morfología de la Planta. La zanahoria es una especie originaria del centro asiático y del mediterráneo, es una planta bianual que cumple su ciclo vegetativo en el primer año y emite el tallo floral durante el segundo, posee raíz napiforme, flores de color blanco y fruto diaquenio, soldado por su cara plana⁶.

4.1.2.1 Raíz. El sistema radicular es extenso, profundo, con capacidad de absorción muy lenta inicialmente, pero máxima cuando la raíz alcanza su tamaño normal.

4.1.2.2 Forma y color. La parte principal de la zanahoria es napiforme; la presencia de dedos o bifurcaciones resulta de factores hereditarios, o por el efecto ambiental como la aplicación de estiércol no descompuesto, o de obstáculos que se opongan al crecimiento vertical de la raíz. El color normal de la zanahoria, es un rojo anaranjado, uniforme y profundo. Durante su desarrollo, la raíz cambia de blanco-amarillo, cuando esta muy tierna a amarillo oscuro, anaranjado o amarillo rojizo cuando se desarrolla debido a acumulaciones diferenciales de caroteno, las cuales alteran la intensidad de color.

4.1.2.3 Tallos y hojas. El tallo consiste de una pequeña corona en forma de plato, que se origina en la plúmula; las hojas en forma de roseta son de pecíolos largos muy divididos.

⁶ INFOAGRO. Agroalimentación: Zanahoria, cultivo y manejo [online]. Bogotá: Infoagro, 2002 [consultado 2 de marzo de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http://: www.infoagro.com.html](http://www.infoagro.com.html)>.

4.1.2.4 Flores y semillas. La corona inicia la emisión de los tallos durante el segundo año, los cuales pueden alcanzar alturas de 1.0 a 1.50 metros según el clima y la variedad. Las flores se agrupan en una estructura en forma de paraguas que se denomina umbela.

4.1.3 Producción. El cultivo de zanahoria en el mundo ha experimentado un alto crecimiento en los últimos años tanto en superficie como en producción. La producción mundial se eleva a 14.000.000 toneladas/año. China, Estados Unidos, Rusia, Reino Unido, Polonia y Japón producen más de la mitad (52%). La Unión Europea, con un incremento del 25 % con respecto a la producción de hace diez años, alcanza las 3.000.000 toneladas/año⁷.

La zanahoria en orden de importancia y área sembrada, esta dentro de los cinco primeros cultivos hortícolas en Colombia. En el país existen zonas de extensión considerables, dedicadas a la explotación de zanahoria, especialmente en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Nariño, y en menor escala en Caldas, Boyacá, Tolima y Valle.

La mayoría de la zanahoria producida en Colombia, se vende en los mercados locales y el resto se exporta a Venezuela y las Antillas. La producción del oriente de Antioquia se envía a la costa Atlántica; de la producción de la sabana, parte se vende en el mercado de Bogotá y el resto se envía a zonas de la costa Atlántica y el interior del país; la zanahoria producida en Nariño se consume en el mismo departamento y el remanente se envía al valle del Cauca y al Ecuador⁸.

4.1.4 Clima. La zanahoria es una planta que se adapta muy bien a los climas fríos moderado y medios, pero los máximos rendimientos y la mejor calidad se obtienen a temperaturas medias entre 13 y 18 °C, temperaturas superiores o inferiores ocasionan pérdidas en el color de la raíz. La temperatura tiene además un marcado efecto sobre la forma de la raíz; temperaturas altas, producen raíces cortas y temperaturas bajas, raíces largas.

⁷ TIRILLY, M y BURGEAIS, A. Producción de zanahoria. México: Noriega, 2002. p. 47.

⁸ PEREZ, Antonio. La Zanahoria. Bogotá: UNISUR, 2000. p. 112.

4.1.5 Suelos y siembra. La zanahoria por ser una hortaliza de raíz, se ve favorecida por los suelos profundos y fértiles, más bien sueltos, con bastante materia orgánica, condiciones donde las raíces se conforman mejor y se desarrollan en forma rápida. Es indispensable un buen drenaje, el exceso de humedad promueve el desarrollo de hongos como la Sclerotinia y otros patógenos que causan pérdidas por pudriciones.

La zanahoria se consume durante todo el año lo que obliga a realizar siembras escalonadas aun cuando la calidad puede verse afectada en ciertas épocas, especialmente en las muy lluviosas y frías. La siembra se hace a mano, empleando de 4 a 5 Kg. de semilla por hectárea, con un mínimo de germinación del 70%. La semilla debe ser cubierta con no más de 1 cm de tierra, para que se presente una germinación rápida y uniforme.

4.1.6 Enfermedades de la zanahoria durante el cultivo. Las enfermedades más frecuentes son causadas por los hongos: *Cerpospora carotae* y *Alternaria dauci*. La zanahoria es además susceptible al ataque de la bacteria *Erwinia caratovora*, a los virus que producen clorosis foliares y a los nemátodos que causan agallas en la raíz. La presencia de enfermedades en la zanahoria se puede prevenir con aplicaciones periódicas de fungicidas adecuados y con el control de insectos transmisores de virus⁹.

4.1.7 Cosecha. La cosecha se efectúa de 4 a 5 meses después de la siembra, según el clima y variedad, al momento de la cosecha las raíces deben tener un diámetro entre 4 y 5 cm; si se deja en el campo más tiempo la raíz sigue engrosándose, pero se vuelve amarga. La cosecha se hace a mano, aflojando la tierra con anterioridad para no dañar la raíz y no quebrar las hojas. Luego el producto es trasladado en camión o remolque hacia las máquinas de lavado o piletas de concreto para su limpieza, finalmente se empaqueta en costales para plazas de mercado o en canastillas para supermercados.

⁹ Ibid., p.119.

4.1.8 poscosecha.

4.1.8.1 Selección. La selección del producto debe iniciarse en el campo en el momento de la cosecha, retirando el producto cortado, enfermo o dañado y el de tamaño inferior o superior al promedio. Posteriormente en el lavado o empaque se realizará otra selección de los productos que no fueron determinados en el campo y que no cumplen con las especificaciones dadas para el mercado.

4.1.8.2 Clasificación. La zanahoria para ser comercializada puede clasificarse en categoría extra, categoría I y categoría II.

➤ **Categoría extra.** El producto de esta categoría es de calidad superior. Este debe tener un aspecto fresco, forma regular, exenta de magulladuras y heridas o grietas, libre de fisuras, sin ningún tipo de coloración verde o púrpura en la parte superior. No debe tener más de 4,5 cm cuando la calibración es determinada por diámetro y no más de 200 g cuando es determinada por peso.

➤ **Categoría I.** Las zanahorias deben ser de buena calidad, enteras y tener apariencia fresca. Sin embargo pueden presentar los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten la apariencia general del producto, la calidad y la presentación del empaque:

- Leves defectos en la forma
- Ligeros defectos en la coloración
- Leves heridas cicatrizadas
- Ligeras he ridas o grietas causadas por la manipulación o el lavado.

➤ **Categoría II.** Aquí se incluyen las zanahorias que no pueden clasificarse en las categorías superiores pero reúnen las características mínimas anteriormente definidas. Los siguientes defectos pueden ser permitidos siempre que las zanahorias mantengan sus características esenciales en cuanto a calidad, mantenimiento de la calidad y presentación:

- Defectos de forma y en la coloración
- Heridas cicatrizadas siempre y cuando no alcancen el corazón
- Heridas o grietas causadas por la manipulación o el lavado.
- Para las zanahorias de longitud inferior a 10 cm, la parte superior verde o púrpura puede alcanzar hasta 2 cm de altura, para las demás esta coloración puede alcanzar hasta 3 cm.

4.1.9 Empaque y embalaje. Para la actividad de empaque se deben considerar en primer lugar los requerimientos del producto, debido a su constitución y estructura. Las zanahorias deben estar empacadas de manera que se proteja el producto apropiadamente. Los materiales utilizados en el empaque deben ser nuevos, limpios sin residuos tóxicos, ecológicamente aceptados y de materiales que no causen daño externo e interno al producto.

El empaque mas utilizado en el centro del país, es el saco de fique que tiene una costura paralela con nylon, esta debe proporcionar una resistencia suficiente, de manera que impida su separación en el momento del llenado del saco o durante su uso. Los hilos utilizados deben ser de buena calidad para evitar que se rompan, la boca del saco debe tener un doblez suficientemente fuerte para que no se descosa durante el uso. Las medidas del empaque deben ser de 70 por 90 cm con un peso neto del producto de 75 Kg y peso del empaque de 0.6 Kg.

La zanahoria para supermercado se empaca en canastillas plásticas tipo Carulla que tienen las siguientes medidas 60 cm de largo por 40 cm de ancho por 25 cm de alto, con base y lados lisos y con aberturas verticales. Se pesa de acuerdo a la clase de producto a entregar así: 14 Kg. para selecta y 22 Kg. para corriente.

El empaque debe ser económicamente factible en relación con el costo del producto; los empaques de fique, nylon y empaques de cartón no se pueden reutilizar para los próximos cargamentos por lo cual se considera un costo adicional al precio del producto, mientras que para la canastilla plástica el costo tiende a desaparecer en la medida en que se puede utilizar mayor cantidad de veces, incrementando el precio una mínima porción.

4.1.10 Almacenamiento. Algunas variedades resisten mejor que otras el almacenamiento; debido a su corteza delgada y textura fina, la variedad Nantes no se puede almacenar tan bien como Chantenay. Las variedades cosechadas en suelos secos, se conservan mejor que las provenientes de suelos húmedos.

A temperaturas de refrigeración, la zanahoria pierde menos peso que a temperaturas altas. La refrigeración también mantiene alto el contenido de azúcares y retiene el caroteno inicial. Con el almacenamiento inadecuado, se pierde calidad a causa de la lenta pérdida de azúcares en la respiración. El marchitamiento y la flacidez se previenen con una humedad relativa entre 90 y 95% en los sitios de almacenaje.

4.1.11 Características físicas y químicas.

4.1.11.1 Características físicas.

- **Forma.** La forma puede considerarse definida aproximadamente a los 120 días para la variedad Chantenay en climas fríos. Para esta época la raíz presenta en su ápice el inicio de un ensanchamiento, propio de la variedad de terminar en punta roma; este aspecto es el principal indicativo del inicio de la madurez para la cosecha.
- **Tamaño.** Como factor de evaluación de calidad, el tamaño define la clasificación del producto para el mercado. El tamaño viene referido por el largo desde la base a su ápice y el diámetro de sus hombros; cuando el producto ha alcanzado el tamaño adecuado, con un mínimo de 10 cm de largo y 4-5 cm de ancho, se procede a la cosecha, este se consigue aproximadamente en condiciones normales de suelo y clima entre los 120 y 150 días de cultivo. Tamaños normales de cosecha para mercados de plaza oscilan entre 10 y 18 cm de largo y ancho de hombros entre 3.5 y 6 cm.
- **Peso.** Las zanahorias deben pesar en promedio para el periodo de cosecha definido, entre 120 y 140 g a los 120 días; y entre 180 y 220 g a los 180 días. El peso tiene una relación directa con el tamaño de la zanahoria y es determinante en la actividad de empaqueo debido a que la capacidad de un empaque debe coincidir con un número determinado de kilogramos.
- **Color.** La zanahoria se distingue por poseer un color generalmente anaranjado a lo largo de todo su ciclo de desarrollo y sostenerlo durante la poscosecha, por ello se puede cosechar en cualquier momento a partir de la adquisición del tamaño ideal para comercializar. El mercado requiere como norma de calidad, colores intensos y profundos, especialmente los rojos que son de mayor aceptación para el consumidor.
- **Consistencia.** El producto al estar en el suelo, en contacto muy estrecho con la humedad en la época previa a la cosecha, alcanza a llenar su máxima capacidad de agua, factor que promueve una mayor compactación y dureza de los tejidos al momento de la cosecha. En la medida en que el producto se encuentre túrgido al momento de la cosecha será capaz de sostener en mejor manera, tanto su forma como su peso en el momento de la poscosecha. La resistencia de la zanahoria a la penetración, indica el aumento de la consistencia con el desarrollo de la raíz, hasta llegar a su máxima capacidad al momento de la cosecha que es de 25 lb/pulg².

4.1.11.2 Características químicas.

➤ **Contenido de azúcar.** Durante el proceso de desarrollo, la raíz acumula gran cantidad de sacarosa en los tejidos adyacentes al corazón o medula llamada pulpa. La mayor o menor cantidad de sólidos solubles totales (S.S.T), dependerá básicamente de la concentración de compuestos de potasio en el suelo en la última etapa de crecimiento de la raíz (100-140 días) donde es más ávida. Dicho contenido también se vuelve diferencial de acuerdo a la variedad que se este cultivando. Ver cuadro 1.

➤ **Contenido de almidón.** Similar al contenido de azúcares, el producto almacena grandes cantidades de almidón en la pulpa. Según la prueba de yodo-yoduro, se observa una fuerte acumulación hasta los seis meses de edad, pero inicia su decadencia en adelante, debido a la conversión en azúcares y la reutilización para la inducción de la floración.

Cuadro 1. Variación °Brix - pH respecto al tiempo de ciclo vegetativo

MESES	°Brix	pH
1	6.0	6.0
2	6.2	6.25
3	6.8	6.45
4	7.0	6.52
5	7.5	6.46
6	7.8	6.33
7	7.0	6.25

Fuente. INFOAGRO, Agroalimentación: Zanahoria, cultivo y manejo. 2002

➤ **Contenido de humedad.** Durante el periodo vegetativo, la raíz absorbe la mayor cantidad de agua durante los tres primeros meses después de la siembra, periodo en el cual, la zanahoria alcanza su tamaño y forma casi definitivos. El contenido de agua final depende de factores como: variedad, clima, suelos y época de siembra, pero en general, las zanahorias al momento de la cosecha, presentan una humedad comprendida entre el 85% y 92%.

4.1.12 Características nutricionales. Las cualidades nutritivas de la zanahoria son importantes especialmente por su elevado contenido de beta caroteno (precursor de la vitamina A) pues cada molécula de caroteno que se consume es convertida en dos moléculas de vitamina A. En general se caracteriza por su elevado contenido de agua y bajo contenido en lípidos y proteínas (cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido nutricional de la zanahoria
(En 100 g de parte comestible)

COMPONENTE	CONTENIDO
Calorías	36%
Agua	88.9%
Proteína	0.7 g
Grasa	0.1 g
Carbohidratos	8.4 g
Fibra	1.1 g
Ceniza	0.8 g
Zinc	0.4 µg
Magnesio	12 µg
Calcio	33 mg
Sodio	70 mg
Fósforo	2.8 mg
Hierro	0.6 mg
Vitamina E	0.5 mg
Vitamina A	7000 UI
Caroteno	12000 µg
Ácido nicotínico	0.06 mg
Tiamina	0.04 mg
Riboflavina	0.04 mg
Niacina	0.04 mg
Ácido ascórbico	3 mg

Fuente: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar

4.1.13 Deterioro de la zanahoria por la acción de microorganismos. El deterioro de los alimentos es causado por la actividad primaria de los microorganismos (bacterias, levaduras y mohos) que destruyen la estructura orgánica vegetal y animal. Por su contenido en elementos nutritivos, las hortalizas como la zanahoria son capaces de permitir el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias y, por consiguiente, pueden ser deterioradas por algunos de estos microorganismos. El elevado contenido de agua de la zanahoria (entre 85 y 92%) favorece la proliferación de bacterias productoras de alteraciones y las proporciones relativamente bajas de carbohidratos y grasas ocasionan que la mayor parte de esta agua se encuentre en forma utilizable¹⁰.

Para conservar la zanahoria por más tiempo, se hace descender su contenido de humedad hasta un grado en el que queden inhibidas las actividades de los microorganismos causantes de alteraciones. Los microorganismos presentes en la superficie de frutas y hortalizas recién recolectadas comprende no solo la flora superficial normal, sino la procedente del suelo y agua, e incluso gérmenes patógenos de otros vegetales.

Los microorganismos que se encuentran en las hortalizas son principalmente bacterias. Varios investigadores han señalado los géneros de bacterias encontrados, que han sido resumidos por Vaughn, entre ellos se encuentran: *Escherichia*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Bacillus* y *Clostridium*, siendo las especies predominantes *Lactobacillus* y *Leuconostoc*. Algunas de estas bacterias pueden causar enfermedades como: la difteria, el tétanos, la bronconeumonía y la mionecrosis, entre otras¹¹.

En relación con el pH se ha demostrado que la mayor parte de los microorganismos se multiplican con valores de pH entre 6.6 y 7.5, mientras que solo algunos crecen por debajo de 4. La zanahoria fresca con un pH aproximado de 6,6 es altamente favorable al desarrollo de microorganismos causantes de alteraciones como puede observarse en el cuadro 3.

¹⁰ JAY, M. James. Microbiología Moderna de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1988. p. 85

¹¹ FRAZIER. Microbiología de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1981. p. 133.

Cuadro 3. Valores aproximados correspondientes al pH máximo y mínimo necesario para el crecimiento de microorganismos.

ORGANISMO	MINIMO	MAXIMO
<i>Escherichia coli</i>	4.4	9.0
<i>Salmonella Typha</i>	4.5	8.0
<i>Streptococcus lactis</i>	4.3	4.8
<i>Llactobacillus spp.</i>	3.0	7.2
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	1.0	9.8
<i>Mohos</i>	1.5	11.0
<i>Levaduras</i>	2.5	8.5
<i>Acontium velatum (hongo)</i>	0.2	7.5

Fuente. FRAZIER, W. C. Microbiología de los alimentos

4.2 DESHIDRATAACION

La deshidratación se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua contenida en los alimentos, por evaporación aplicando calor, por difusión empleando membranas, o por separación simple empleando medios mecánicos¹².

El objetivo principal de la deshidratación consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción del agua disponible para la actividad bioquímica, enzimática o microbiana que se expresa como actividad acuosa (a_w). La actividad acuosa de los alimentos se define como la relación entre la presión de vapor del agua del alimento y la del agua pura a la misma temperatura. A medida que una solución se concentra, la presión de vapor disminuye y la actividad acuosa desciende. La deshidratación es una de las operaciones unitarias que reduce el agua disponible eliminándola físicamente del alimento.

¹² FELLOWS, Op. Cit., p. 287.

A actividades de agua inferiores a 0.6 se inhibe prácticamente toda la actividad microbiana. La de los mohos se inhibe a a_w inferior a 0.7, la de las levaduras a a_w inferior a 0.8 y la de la mayor parte de las bacterias a a_w inferior a 0.9¹³.

La deshidratación reduce también el peso y volumen de los alimentos, lo cual disminuye los gastos de transporte y almacenamiento. En algunos casos sirve también para brindar al consumidor productos de más cómoda utilización.

Uno de los objetivos en el diseño y manejo de las técnicas de deshidratación consiste en reducir al mínimo las modificaciones que los alimentos experimentan durante el proceso, utilizando en el mismo los parámetros adecuados para cada alimento en particular. Según McBean, citado por Colciencias, las principales reacciones bioquímicas que ocurren en las frutas y hortalizas durante el proceso de deshidratación que repercuten sobre la calidad de los productos son: el oscurecimiento enzimático, el oscurecimiento no enzimático, la degradación de pigmentos, la remoción de sustancias volátiles y la destrucción de vitaminas.

El oscurecimiento enzimático se debe a la acción de la polifeniloxidasa sobre los compuestos fenólicos de las hortalizas oxidándolas a quinonas que son compuestos oscuros. En presencia de oxígeno y en el producto fresco, la reacción resulta favorecida. Al disminuir la humedad, la oxidación se reduce no solamente por la menor actividad de agua, sino también, por la misma inhibición enzimática debida a la concentración de los sólidos solubles del alimento.

El oscurecimiento no enzimático se debe a las reacciones entre los compuestos carbonilo y aminoácidos o sus derivados y la formación de complejos entre polifenoles y metales. Las reacciones entre compuestos carbonilo y aminoácidos presentan un máximo en la región de humedad intermedia de los alimentos.

Para el caso de la zanahoria, los carotenoides responsables de la pigmentación amarilla y las antocianinas del color rojo son inestables durante la deshidratación con métodos que implican suministro de calor.

¹³ JAY, Op. Cit., p.32.

Dependiendo de las condiciones de secado y de las características del producto una mayor o menor cantidad de sustancias volátiles, cuya mezcla constituye una fracción mayoritaria del aroma del producto, se removerá junto con el agua que se está eliminando. Las operaciones a baja temperatura y las altas concentraciones de sólidos ayudan a retener mayor cantidad de compuestos volátiles.

El β -caroteno (pro - vitamina A) presente en la zanahoria, es un compuesto soluble en agua que rápidamente se destruye por la acción del calor a ciertos niveles de pH. Su degradación disminuye conforme decrece la actividad del agua en el producto y se reducen las temperaturas de deshidratación.

4.2.1 Deshidratación convectiva. La deshidratación convectiva implica el uso de un gas como medio deshidratante, normalmente, aire caliente que es forzado a pasar sobre el alimento que se desea deshidratar. El aire aporta el calor sensible y el calor latente de evaporación de la humedad y también actúa como un medio para eliminar el vapor de agua generado.

Existen diferentes fórmulas matemáticas obtenidas a partir del estudio de sistemas simples que resultan de difícil aplicación en la desecación de alimentos debido a su carácter complejo y heterogéneo. Entre los componentes de los alimentos figuran proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas, enzimas y sales inorgánicas que se encuentran fuertemente hidratados, además, tanto los tejidos vegetales como animales son de naturaleza celular, hecho que también afecta el rendimiento de esta operación¹⁴.

La eliminación de agua con aire caliente se produce debido a una transferencia de calor por convección, debido al gradiente de temperaturas entre el aire y la superficie del producto, y a una transferencia de masa debido al gradiente de presión entre la presión de vapor de la superficie del producto y la presión parcial del agua en el aire¹⁵.

¹⁴ EARLY, R. L. Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1989. p. 58.

¹⁵ BRENNAN, J. G. et al. Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1980. p. 89.

4.2.1.1 Contracción y endurecimiento. En la deshidratación de alimentos empleando aire caliente, las capas exteriores pierden humedad necesariamente antes que las capas interiores, por esta razón, las capas superficiales se contraen frente a un núcleo central de volumen constante. Esta contracción de la superficie produce agrietamientos, roturas y alabeos (ondulamiento).

Por otra parte, el agua líquida que fluye hacia la superficie durante la desecación contiene diversos solutos disueltos que pueden depositarse en la superficie del producto al evaporarse el agua, formando una película que reduce la velocidad de deshidratación. En casos extremos, la contracción y el descenso de difusividad pueden combinarse para formar una costra prácticamente impermeable que envuelve la mayor parte del alimento e impide la salida de humedad desde el interior. Este fenómeno recibe el nombre de endurecimiento¹⁶.

4.2.1.2 Velocidad de desecación. La velocidad de eliminación de agua está regulada por la velocidad de transmisión de calor desde el aire a la superficie del agua del producto y por las presiones de vapor parciales del agua en el alimento y del agua en la corriente de aire.

Un factor que hace de la deshidratación de alimentos una operación compleja, es el hecho de que el agua puede estar ligada al producto en grados diversos. Los dos extremos son que la humedad simplemente repose sobre la superficie del producto o que se encuentre combinada químicamente con otros constituyentes. En principio se creyó que el agua contenida en un producto alimenticio era de dos tipos: agua libre y agua ligada. En la actualidad parece que tal división es una simplificación excesiva y que esta clasificación no es realmente útil¹⁷.

¹⁶ McCABE, L. Warren; SMITH, Julián y HARRIOT, Peter. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Madrid, España: McGraw Hill, 1991. p. 369.

¹⁷ EARLY, Op. Cit., p.156.

El agua esta retenida por fuerzas cuya intensidad varía desde las fuerzas muy débiles que retienen el agua superficial, a los enlaces químicos muy fuertes. Es evidente que durante la desecación se separa más fácilmente el agua que esta retenida más débilmente. Cabe esperar por ello que las velocidades de desecación disminuyen a medida que decrece el contenido en humedad y que el agua que queda este unida más fuertemente a medida que su cantidad disminuye¹⁸.

4.2.1.3 Teoría general de la deshidratación convectiva. La figura 1 muestra la curva de secado que en términos generales siguen los alimentos durante la deshidratación convectiva¹⁹. (Brennan et al., 1980,320)

➤ **Fase A - B:** Es una fase de estabilización en el que las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de desecación. Con frecuencia esta fase constituye una proporción despreciable del ciclo total de desecación, pero en algunos casos puede ser significativa.

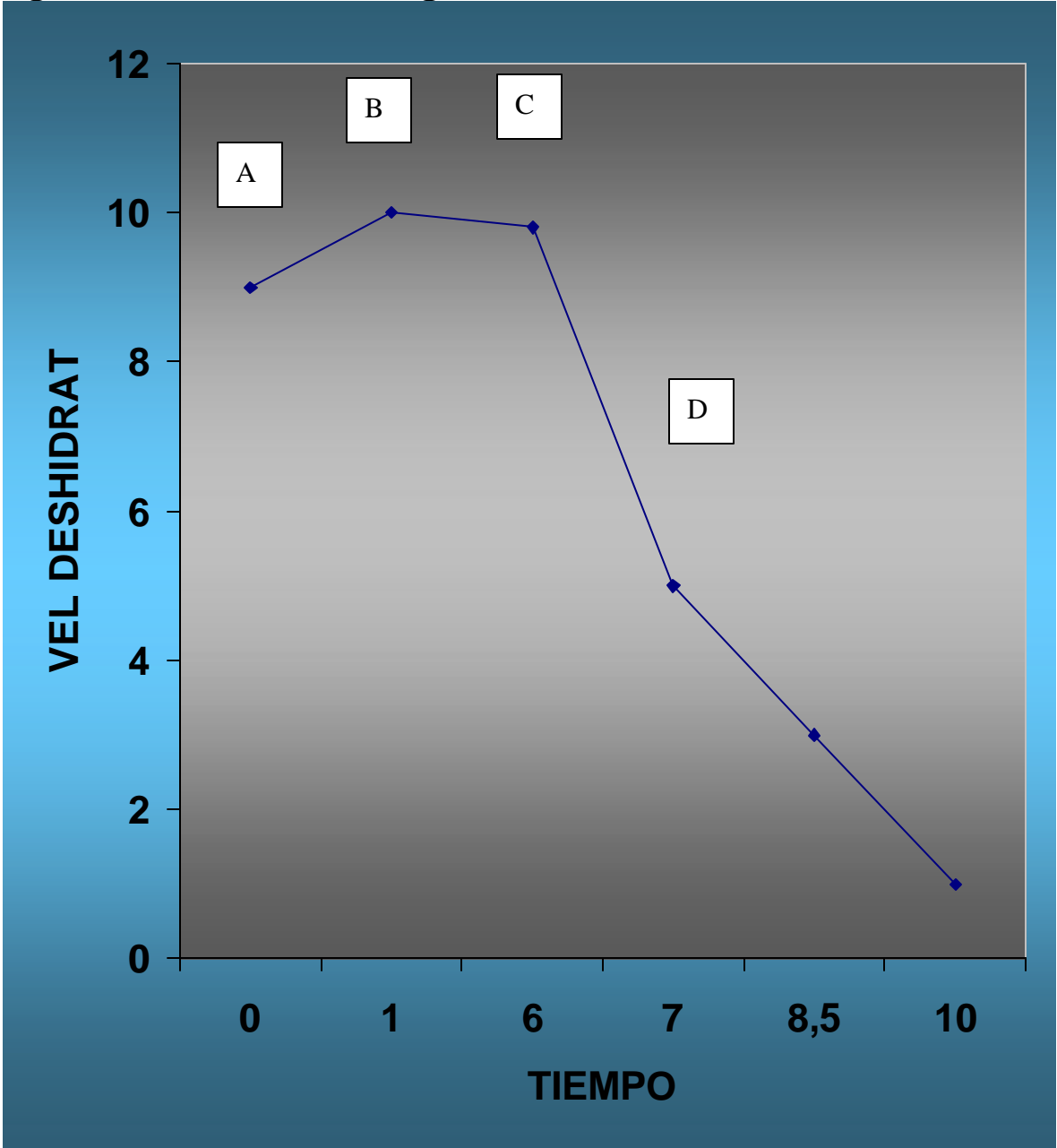
➤ **Fase B - C:** Se conoce como periodo de velocidad constante. Aquí la superficie del producto se encuentra saturada de agua líquida debido a que el movimiento de agua desde el interior del sólido ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie. La velocidad de transferencia de masa y la velocidad de transferencia de calor se equilibran de forma que la temperatura de la superficie del producto se mantiene constante.

➤ **Fase C - D:** En esta fase la velocidad del movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal que la superficie comienza a secarse por el incremento de la temperatura. Esta fase se conoce como periodo de velocidad decreciente, en ella la velocidad de desecación está influenciada principalmente por el movimiento de la humedad dentro del sólido, más que de los factores externos. Normalmente los periodos de velocidad decreciente constituyen la mayor proporción del tiempo total de desecación.

¹⁸ Ibid., p.157.

¹⁹ BRENNAN, Op. Cit., p.320.

Figura 1. Curva de secado general en la deshidratación de alimentos



Fuente. BRENNAN, J. G. Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos

4.2.2 Deshidratación osmótica. El principio osmótico se puede aplicar convencionalmente en la deshidratación de alimentos. Durante la operación, el agua se difunde a través de la membrana desde la solución diluida hacia la solución concentrada hasta que se alcanza una concentración de equilibrio. El agua que contiene la zanahoria fresca se puede considerar como una solución diluida, dado que contiene azúcares, ácidos orgánicos y otros solutos de bajo peso molecular en pequeñas proporciones, disueltos en grandes cantidades de agua. La estructura celular de la zanahoria actúa aproximadamente como una membrana semipermeable, haciendo que el soluto sea incapaz de difundirse a través de la membrana, o permitiendo un paso muy lento, de manera que el principal resultado de este proceso sea la transferencia de agua a la solución concentrada.

La deshidratación osmótica no es en sí un sistema de conservación como tal, sino más bien, una operación dentro de las dos o más que conforman un proceso determinado de conservación. Normalmente el proceso comprende una primera deshidratación por ósmosis y un segundo tratamiento empleando una de las diferentes modalidades del secado convectivo.

Existen varios métodos complementarios de conservación utilizados después del proceso de deshidratación osmótica tales como la congelación, la liofilización y la adición de conservantes entre otros. En esta investigación se utilizará como método complementario el secado con aire caliente, por ser una operación que combina eficiencia y bajo costo en comparación con otros métodos. Por otra parte, la utilización de alcohol etílico en la solución osmótica requiere el empleo de una operación que permita volatilizar el exceso de alcohol en la superficie del producto y en este aspecto el secado con aire caliente es la operación industrial que puede cumplir realmente con este objetivo.

En la deshidratación osmótica, la osmosis depende de la existencia de una diferencia de potenciales químicos (μ) entre el agua del producto y el agua de la solución que rodea el alimento.

El potencial químico está a su vez, directamente relacionado con la actividad del agua a través de la ecuación:

$$\mu = \mu^0 + RT \ln a_w .$$

Donde, μ^0 es el potencial químico del agua pura a la temperatura de operación, a_w la actividad acuosa y R la constante de los gases.

Quizás el factor que más diferencia la deshidratación osmótica con los demás sistemas de deshidratación, sea la forma como difunde el agua desde el producto hacia el medio deshidratante.

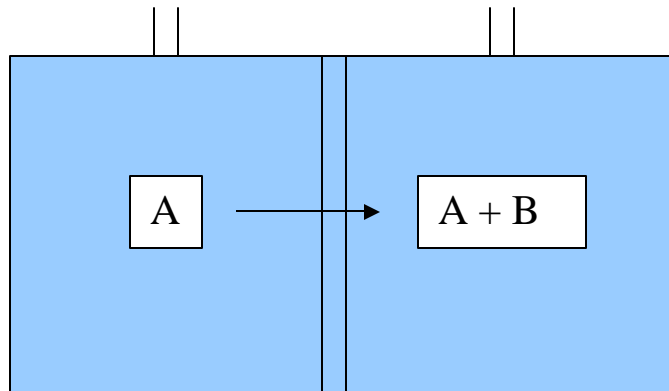
La difusión ocurre prácticamente a la misma velocidad desde todos los frentes del trozo de alimento, incluso desde el interior. Las moléculas de agua provenientes de la parte interna, tienden a ocupar rápidamente el espacio dejado por las moléculas ubicadas en la superficie del producto. Este comportamiento se debe a dos factores importantes: el medio deshidratante rodea por completo todos los puntos del trozo de alimento, lo cual reduce considerablemente las diferencias de presión y temperatura entre las secciones del trozo de producto; y el gradiente de potenciales químicos entre el agua de la solución osmótica y el agua del producto no genera una velocidad de difusión tan elevada como ocurre en otros métodos.

Analizando el sistema de deshidratación convectiva se puede observar que el medio deshidratante, aire caliente, no cubre uniformemente todo el producto; igualmente el gradiente de temperatura entre el aire y el producto es muy elevado, generando así, una difusión de agua muy rápida en la superficie y mucho más lenta en el interior del producto. Las elevadas temperaturas en la superficie afectan la textura, el color, el sabor y el contenido nutricional del alimento.

4.2.2.1 Osmosis. La osmosis es el proceso por medio del cual un disolvente pasa de una solución diluida a otra más concentrada moviéndose a través de una capa porosa que permite el paso del solvente, pero restringe el paso del soluto. A estas capas se les denominan membranas semipermeables.

En la figura 2 se presenta un sistema a presión y temperatura constantes, en la cual A es un solvente en estado puro y A+B una solución conformada por el solvente A mas un soluto B. Se llenan las dos cámaras de modo que la altura de los líquidos en los dos tubos capilares sea la misma. Las cámaras están por tanto a la misma presión inicial, $P_1 = P_2$, y a la misma temperatura, $T_1 = T_2 = T$.

Figura 2. Principio osmótico



Fuente. BRENNAN, J. G. Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos

Los potenciales químicos del solvente A en las cámaras 1 y 2 son:

$$\mu_{A1} = \mu'_A$$

$$\mu_{A2} = \mu'_A + RT \ln X_A$$

Donde, μ'_A es el potencial químico del solvente A en estado puro y X_A la fracción molar de A. Dado que $\mu_{A1} > \mu_{A2}$ (puesto que $X_A < 1$), el sistema tiende a equilibrar los potenciales químicos transfiriendo la sustancia A, a través de la membrana, desde la cámara 1 hacia la cámara 2. El líquido en el tubo capilar 2 subirá aumentando de este modo la presión en la cámara de la derecha, el incremento de presión hace que aumente μ_{A2} hasta que finalmente se alcance un equilibrio con $\mu_{A1} = \mu_{A2}$ ²⁰.

Este principio es el que sigue la deshidratación osmótica de alimentos, donde la membrana semipermeable esta conformada por el material sólido del producto, A representa el agua contenida en el producto y A + B representa la solución osmótica.

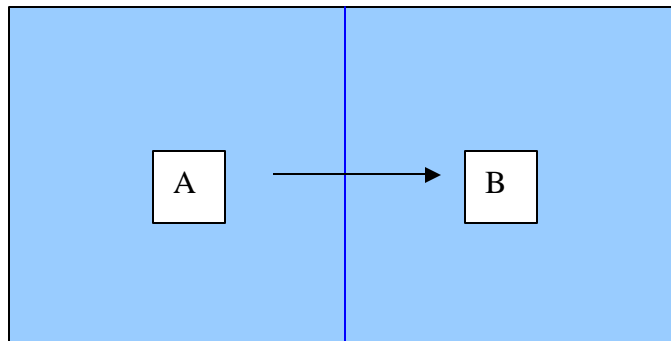
²⁰ AYUSO, Luis Evaristo. Modulo de Fisicoquímica: Aplicación de la termodinámica a las soluciones. Bogota, Colombia: Unisur, 1996. p. 120.

➤ **Potencial químico.** El potencial químico es una propiedad intensiva, así como lo son, la presión y la temperatura. Sigue el mismo comportamiento de la energía eléctrica en el sentido de que fluye de un lugar de mayor potencial químico a otro de menor potencial, transfiriendo materia.

La figura 3 muestra un sistema con una sustancia cualquiera, conformado por las regiones A y B, que se encuentran a igual presión, temperatura y número de moles. Por tanto el sistema está en equilibrio y $\mu_A = \mu_B$.

Suponiendo que se incrementa en la región A, ya sea la presión, la temperatura o el número de moles, entonces en esa región el potencial químico va a aumentar. En ese momento $\mu_A > \mu_B$ y puesto que no hay una división física entre las dos regiones, los potenciales químicos volverán a equilibrarse después de un tiempo. El equilibrio se logra transfiriendo temperatura, presión o volumen de sustancia de A hacia B.

Figura 3. Equilibrio de potenciales químicos



Fuente. AYUSO, Luis Evaristo. Modulo de Físicoquímica: Aplicación de la Termodinámica a las Soluciones

Normalmente, durante el proceso de deshidratación osmótica, no hay variación de presión y temperatura, por lo tanto, el equilibrio de potenciales químicos únicamente se logra por la transferencia de agua desde el producto hacia el medio osmótico.

➤ **Presión osmótica.** Se llama presión osmótica de una solución a la diferencia de presión que debe existir entre la solución y su solvente puro para que esta no pase (en ningún sentido) a través de una membrana semipermeable interpuesta entre el solvente puro y la solución²¹. Por la medición experimental realizada en soluciones diluidas de concentración conocida, se sabe que la relación entre la presión osmótica y la concentración está dada simplemente por:

$$p = C RT$$

Donde,

p = Presión osmótica

C = Concentración del soluto

R = Constante de los gases

T = Temperatura en K

De acuerdo a la Ley de Van't Hoff, el soluto de una solución se comporta como si fuese un gas en ausencia del solvente, es decir, como si las partículas del soluto, que están distribuidas en el seno de la solución se desplazasen como las moléculas de un gas cuya presión, es producida por el choque de aquellas contra las paredes del recipiente. La presión osmótica de una solución, su temperatura, el número de moles de soluto y su volumen están ligados por la misma relación que existen entre las magnitudes de un gas ideal, así:

$$PV = n RT$$

Aplicado a una solución,

$$p V = n RT$$

En general la presión osmótica representa la presión a la que debe estar la solución, para equilibrar los potenciales químicos del solvente y la solución. Cuando se alcanza el equilibrio, se detiene la difusión.

²¹ Ibid., p. 142.

4.2.2.2 Transferencia de masa. La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica puede calcularse usando las ecuaciones reportadas por Dalla Rosa et al.²².

$$NWC = Kt^{0.5} + q$$

$$NSC = K't^{0.5} + q$$

Donde, NWC y NSC son el contenido de agua y sólidos normalizados, K y K' son los coeficientes de transporte de materia, t el tiempo y q una constante.

En la deshidratación osmótica, la cantidad y velocidad de remoción de agua depende de varias variables y parámetros de proceso. En general se ha demostrado que el proceso es más eficiente al incrementar la concentración de la solución osmótica, tiempo de inmersión, temperatura, relación solución - alimento, área superficial del alimento y por el uso de sistemas a baja presión con agitación²³.

La concentración del soluto en la solución no puede ser tan elevada como para provocar la cristalización (en el caso de la sacarosa la concentración no puede ser superior a 65°Brix). Las temperaturas no deben ser superiores a 50°C, para no afectar las características propias del producto.

4.2.2.3 Efecto de la deshidratación osmótica sobre las propiedades nutritivas y organolépticas. Los productos obtenidos presentan una elevada calidad organoléptica y nutritiva. El secado convectivo, que generalmente afecta estas propiedades en los productos frescos, no tiene efecto significativo sobre los alimentos previamente osmodeshidratados. De forma más específica las ventajas de la deshidratación osmótica con relación a las propiedades nutritivas y organolépticas son:

²² DALLA ROSA; PINAVIA, y LERICI. Industria Conserve. México: Guadalupe, 1982. p. 58.

²³ YAHIA, Elhadi M e HIGUERA CIAPARA, Inocencio. Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas. México D. F: Noriega, 1992. p. 118.

- El uso de solutos como componentes de la solución osmótica, previene en mucho la pérdida del olor y sabor característico de las frutas y hortalizas frescas que comúnmente se presenta en el secado con aire o vacío. La ganancia de sólidos por el producto influye positivamente en la retención de sustancias aromáticas volátiles durante el secado convectivo final, dado que la retención de estos durante el secado depende en gran parte de la concentración de sólidos del producto²⁴.
- La alta concentración de solutos que rodea los trozos del alimento previene su decoloración por obscurecimiento enzimático y permite obtener un color aceptable en el producto final sin necesidad de tratamientos con aditivos como el dióxido de azufre²⁵.
- La deshidratación osmótica incrementa la retención de nutrimentos durante el secado y minimiza considerablemente el daño por calor²⁶.
- La concentración de solutos y la difusión de agua lenta y uniforme desde el alimento hacia el medio osmótico mejora la textura del producto deshidratado.
- Se ha encontrado que la deshidratación osmótica requiere dos o tres veces menos energía comparada con el secado convectivo²⁷.

²⁴ POINTING. et al. Osmotic Deshidratation of Fruits. Philadelphia: Food Technol, 1986. p. 125 - 128.

²⁵ Ibid., p. 125 - 128.

²⁶ ISLAM y FLINK. Technol. New York: Random House, 1982. p. 256.

²⁷ COLCIENCIAS. Anales del Seminario Avanzado de Tecnología de Alimentos. Santa fe de Bogota, Colombia: Guadalupe, 1983. p. 89.

- La congelación industrial de frutas y hortalizas requiere de una considerable energía para congelar la gran cantidad de agua que existe en los productos frescos. Al remover una proporción considerable de agua se reduce la demanda energética en el proceso, aumenta la velocidad de congelación, mejora la textura y el sabor del producto descongelado y hay un menor colapsamiento de la estructura²⁸.
- Los alimentos osmodeshidratados presentan un mayor nivel de rehidratabilidad que los alimentos deshidratados por otros métodos.

4.2.2.4 Agentes osmóticos. Se han ensayado diversos tipos de agentes osmóticos en la deshidratación osmótica de alimentos, entre las más importantes están las soluciones de cloruro de sodio, la maltodextrina, el alcohol etílico y azúcares como la sacarosa y la glucosa. Las concentraciones de estas soluciones pueden estar entre el 30 y 80%. El suministro de calor y la agitación de las soluciones aceleran la velocidad de deshidratación, sin embargo esto incrementa los costos de operación y se requiere del diseño de equipos especiales. Una de las ventajas de la deshidratación osmótica es que las soluciones empleadas, pueden reutilizarse después de un tratamiento previo de reconcentración y pasteurización.

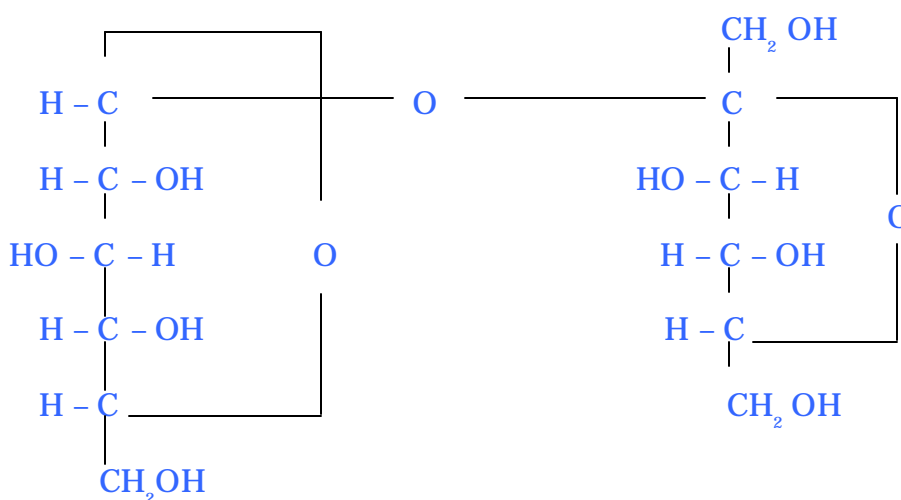
➤ **Sacarosa:** Es un sólido blanco, con punto de fusión a 180° C., cristaliza en el sistema monoclinico, tiene sabor dulce y se disuelve fácilmente en agua²⁹. La sacarosa es un azúcar extraído de la caña de azúcar y la remolacha, su fórmula desarrollada se presenta en la figura 4. La sacarosa es quizás el soluto más eficiente como agente osmótico deshidratante dado su elevado peso molecular. (342.34 g/mol).

²⁸ POINTING. et al., Op cit., P. 78.

²⁹ GARCIA-PELAYO, Fernando. Química y Ciencias Naturales. Paris, Francia: Larousse, 1993. p. 91.

➤ **Alcohol etílico:** El alcohol etílico o etanol tiene la fórmula $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$. Se obtiene corrientemente por fermentación de ciertos azúcares, especialmente sacarosa. Puede producirse así mismo por reducción del acetaldehído, en forma de vapor, mediante tratamiento con hidrógeno en presencia de níquel. El etanol es un líquido incoloro, inflamable, con punto de ebullición a 78.1°C , miscible en agua en todas las proporciones y también en la mayoría de los disolventes orgánicos. Su peso molecular es 46.08 g/mol .³⁰.

Figura 4. Fórmula química de la sacarosa



Fuente. GARCIA-PELAYO, Fernando. Química y Ciencias Naturales

4.3 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

Las propiedades organolépticas o sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos. Algunas de estas propiedades se perciben por medio de un solo sentido, mientras que otras son detectadas por dos o más sentidos.

³⁰ Ibid., p. 77.

4.3.1 Características organolépticas.

4.3.1.1 El color. El color consiste en la emisión de luz por parte de un objeto a una longitud de onda determinada. El color puede considerarse bajo tres aspectos importantes: matiz, brillo y saturación. El matiz hace referencia a la clase de color y esta determinado por la longitud de onda de la radiación que llega al observador; el brillo es la medida del grado de dilución del matiz con el negro; y la saturación es la pureza del matiz, o también puede considerarse como el grado de dilución con el blanco³¹.

La medida sensorial del color depende de la aptitud del observador para distinguir los cambios de luz, de las características de la iluminación del lugar y de la reflectancia de la sustancia problema³².

4.3.1.2 La textura. Según Anzaldúa, “la textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación”. (1994, 94). Es importante señalar que la textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado. De esta manera se puede indicar si un alimento es duro, blando, crujiente, fibroso, granuloso, rugoso, etc., atributos que conforman la textura de un alimento.

4.3.1.3 El olor. El olor es la percepción de sustancias volátiles provenientes de algún objeto o sustancia, siendo la nariz el órgano receptor. El olor es una propiedad organoléptica que presenta dos atributos en los cuales está involucrado el tiempo³³.

³¹ LEES. Análisis de los Alimentos, Métodos de Control de Calidad. Zaragoza, España: Acribia, 1982. p. 262.

³². Ibid., p.263.

³³ ANZALDÚA-MORALES, Antonio. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Zaragoza, España: Acribia, 1994. p. 18.

El primero es la persistencia, o sea, que aún después de haberse retirado la sustancia olorosa, la persona continúa percibiendo el olor. Esto se debe a que las fosas nasales y la mucosa que recubre el interior de estas, quedan saturadas de la sustancia volátil. Por esto cuando se llevan a cabo pruebas sensoriales de olor, es necesario ventilar bien el lugar de prueba entre las evaluaciones de una y otra muestra, y dar tiempo suficiente a los jueces para que la sensación olfativa desaparezca.

La otra característica esta relacionada con la mente, y es que las personas se acostumbran a los olores después de cierto tiempo y ya no los pueden percibir normalmente. Por esta razón, las pruebas para la medición de olor deben ser rápidas para no dar tiempo a que los jueces pierdan la capacidad de evaluar esta propiedad.

4.3.1.4 El sabor. El sabor combina tres propiedades organolépticas: el olor, el aroma y el gusto. El aroma consiste en la percepción de las sustancias aromáticas de un alimento cuando este es puesto en la boca, estas sustancias se disuelven en la saliva y llegan hasta los centros sensores del olfato. El gusto hace referencia al carácter ácido, dulce, salado o amargo de un alimento, o bien, a la combinación de dos o más de ellas, esta propiedad es detectada por medio de la lengua. El sabor es la suma de estas tres propiedades y, por lo tanto, su medición y apreciación es más compleja que la de cada propiedad por separado.

El sabor es lo que diferencia a un alimento de otro y no el gusto, ya que si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solo se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido. En cambio, en cuanto se perciba el olor, se podrá decir de que alimento se trata. Por esta razón, cuando se realizan pruebas de evaluación del sabor, no solo es importante que la lengua del juez este en buenas condiciones, si no también, que no tenga problemas con su nariz y garganta³⁴.

4.3.2 Pruebas para la evaluación de propiedades organolépticas. Las técnicas de evaluación sensorial son tan científicas como las de los otros tipos de análisis que utilizan equipos especializados, y están fundamentadas en la estadística, la filosofía, la psicología y otras ramas de la ciencia³⁵.

³⁴ Ibid., p. 21.

³⁵ MENDOZA et al. Isotermas de Sorción y Velocidad de Rehidratación en Vegetales Deshidratados con Diferentes Métodos [online]. Buenos Aires, Argentina: Mendoza, 2000 [consultado 12 de febrero de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http:// www. msu. Edu/ aurasraf/ isotermas. Pdf](http://www.msu.edu/aurasraf/isotermas.Pdf)>.

El análisis sensorial pretende explicar, al menos parcialmente, la relación compleja que existe entre el individuo y el producto que consume. Este análisis puede llevarse a cabo de acuerdo a tres tipos de pruebas, según sea la finalidad para la que se efectuó.

4.3.2.1 Pruebas afectivas. Son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro³⁶. Estas pruebas son las que presentan mayor variabilidad en los resultados y estos son más difíciles de interpretar, ya que se trata de apreciaciones completamente personales.

4.3.2.2 Pruebas discriminativas. Son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, si no que se desea establecer si hay diferencia o no entre dos o más muestras y, en algunos casos, la magnitud o importancia de esa diferencia³⁷.

4.3.2.3 Pruebas descriptivas. En ellas se trata de definir y medir las propiedades del alimento analizado. Las pruebas descriptivas, por tanto, proporcionan mucha más información acerca del producto; sin embargo son más difíciles de realizar, el entrenamiento de los jueces es más intenso y monitorizado, y la interpretación de los resultados es ligeramente más laboriosa que en los otros tipos de pruebas³⁸.

4.3.3 Jueces. El éxito de las pruebas depende en gran medida de la selección acertada de los jueces y del correcto entrenamiento que ellos reciben teniendo en cuenta los análisis que se vayan a realizar.

El número de jueces necesarios para que una prueba sensorial sea válida depende del tipo de juez que vaya a ser empleado. Existen cuatro tipos de jueces: El juez experto, el juez entrenado, el juez semientrenado o de laboratorio, y el juez consumidor.

³⁶ LARMOND. Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Foods. New York, Random House, 1977. 121. p.

³⁷ Ibid., p. 102

³⁸ Ibid., p. 103

4.3.3.1 Juez experto. Son jueces con gran experiencia, como en el caso de los catadores de vino, poseen una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para distinguir y evaluar las características del alimento³⁹. Su habilidad, experiencia y criterio son tales que en las pruebas que efectúa solo es necesario contar con su respuesta.

4.3.3.2 Juez entrenado. Es un juez que posee bastante habilidad para la detección de una propiedad sensorial en particular, que ha recibido cierta enseñanza teórica y práctica acerca de la evaluación sensorial, y que sabe exactamente lo que se desea medir en una prueba⁴⁰. Cuando se llevan a cabo pruebas sensoriales con este tipo de jueces, el número requerido de participantes debe ser al menos de 7, y como máximo 15⁴¹. Se emplean principalmente para pruebas sensoriales descriptivas y para pruebas discriminativas complejas.

4.3.3.3 Juez semientrenado. Estos jueces tienen una preparación similar a la de los jueces entrenados pero a menor escala. Generalmente participan en pruebas discriminativas sencillas, las cuales no requieren de una definición muy precisa de términos o escalas. Estas pruebas deben efectuarse con un mínimo de 10 jueces y un máximo de 20⁴².

4.3.3.4 Juez consumidor. Por lo general son personas tomadas al azar, ya sea en la calle, o en una escuela, etc. Se trata de personas sin ningún tipo de preparación en la evaluación de propiedades organolépticas. El número mínimo de jueces tipo consumidor para que una prueba sea válida es de mínimo 30 y máximo 40 jueces⁴³.

³⁹ ACKERMAN. A Natural History of Senses. New York: Random House, 1990. p. 90.

⁴⁰ ANZALDUA-MORALES, Op. Cit., p. 46.

⁴¹ LARMOND, Op. Cit., p. 15.

⁴² Ibid., p. 19.

⁴³ ANZALDUA-MORALES, Op. Cit., p. 49.

4.4 PROPIEDADES NUTRITIVAS

La nutrición es el conjunto de procesos mediante los cuales el organismo extrae, absorbe e incorpora a sus estructuras una serie de sustancias que recibe mediante la alimentación con el objeto de: obtener energía, construir y reparar las estructuras corporales y regular los procesos anteriores.

La dieta humana se compone de seis grupos básicos de nutrientes, carbohidratos, grasas, proteínas, minerales, vitaminas y agua; junto con sustancias agregadas para dar sabor. Para conservarse sano, el cuerpo tiene diferentes necesidades de estos nutrientes, según el sexo, la edad, el grado de actividad y el clima⁴⁴.

Todos los procedimientos industriales de deshidratación, alteran en cierto grado la composición de los productos, además del agua eliminan cierta cantidad de sus productos volátiles. Pueden hidrolizarse también los hidratos de carbonos y desnaturalizarse las proteínas, producirse pérdidas del contenido de ciertas vitaminas y otras alteraciones. La cuantía de estos cambios se pone de manifiesto comparando los análisis de las zanahorias crudas (limpias y preparadas para la deshidratación) y las ya deshidratadas⁴⁵.

4.4.1 Agua. El agua no es un nutriente en el sentido que sirva de combustible, pero es un nutriente en el sentido de que constituye alrededor de la mitad del peso corporal total y tres cuartos del peso corporal magro y que sin ella el cuerpo no puede funcionar y sobrevivir.

4.4.2 Vitaminas. Las vitaminas constituyen un grupo de compuestos orgánicos que difieren ampliamente en su composición química y que desempeñan papeles catalíticos esenciales en el metabolismo normal de otros nutrientes. No pueden ser sintetizados por el cuerpo y tienen que obtenerse de los alimentos consumidos. Puesto que su función primaria es catalítica, las vitaminas se requieren en cantidades relativamente pequeñas a diferencia de los nutrientes mayoritarios como proteínas, carbohidratos y grasas.

⁴⁴ JERIFE, Eric. Análisis Nutricional de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1985. p. 23.

⁴⁵ HART y FISHER. Análisis Moderno de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1981. p. 511.

Tradicionalmente las vitaminas se han dividido en dos grupos basándose en sus características de solubilidad: las vitaminas liposolubles y las vitaminas hidrosolubles. De esta clasificación derivan algunas ventajas puesto que agrupan las vitaminas de acuerdo con ciertas características fisiológicas comunes y con los problemas implicados en su análisis.

Así, las vitaminas liposolubles A, D y E se encuentran y se extraen de los alimentos asociados a los lípidos, estas vitaminas se absorben junto con la grasa y pasan al hígado donde son almacenadas. Normalmente no se excretan con la orina por lo tanto la cantidad presente en el hígado aumenta al avanzar la edad y en adultos sanos las reservas son suficientes para satisfacer las necesidades de uno a más años. La deficiencia es por tanto menos probable en adultos que en los niños en los que las reservas son menores.

Por el contrario las vitaminas hidrosolubles normalmente no se almacenan en cantidades apreciables en el cuerpo y todo exceso se excreta en pequeñas cantidades con la orina. Un aporte dietético más constante de estas vitaminas es por tanto deseable al objeto de evitar su agotamiento.

La vitamina A es la vitamina más importante que contiene la zanahoria. Es un alcohol primario incoloro de fórmula empírica $C_{20}H_{30}O$, cuya fuente más rica está constituida por el hígado de los pescados oceánicos⁴⁶.

Esta vitamina puede tomarse directamente como vitamina A, la cual se encuentra solamente en los alimentos de origen animal, particularmente en el hígado, la yema del huevo, la leche y sus derivados, el tiburón y otros peces, etc.

Alternativamente la vitamina A se puede sintetizar dentro del cuerpo a partir de los pigmentos amarillos de los alimentos que contienen la pro vitamina β - caroteno (precursora de la vitamina A). Las fuentes ricas en caroteno incluyen frutas y hortalizas de color amarillo tales como: la papaya, la zanahoria, el mango, etc⁴⁷.

⁴⁶ HART y FISHER, Op, cit., p. 553.

⁴⁷ DERRICK y JELLIFFE. Las propiedades de los Alimentos. Londres, 1995. p. 123.

El caroteno es un hidrocarburo amarillo de fórmula empírica $C_{40}H_{56}$ que ofrece varios isómeros; el más frecuente en la naturaleza es el β -caroteno. El β -caroteno no es una vitamina pero su degradación oxidativa en el intestino de los animales transforma cada molécula del mismo en dos moléculas de vitamina A, el efecto fisiológico final del β caroteno es cuantitativamente igual al de la vitamina A⁴⁸.

La vitamina A se requiere para el funcionamiento normal del epitelio (células superficiales) de la piel y del ojo, incluyendo la retina. También juega un papel importante en el desarrollo de huesos y dientes y en la visión normal.

Los efectos clínicos de la deficiencia de vitamina A normalmente solo se observan en las personas cuya dieta ha sido deficiente en estos alimentos durante un largo periodo de tiempo o que padecen enfermedades que interfieren en la absorción de nutrientes.

4.4.3 Minerales. En el organismo se pueden detectar la mayoría, sino todos los elementos inorgánicos y minerales, pero solo 15 de ellos son conocidos como esenciales, debiendo ser aportados por la dieta.

Los minerales desempeñan tres funciones primordiales:

- Como constituyentes de los huesos y los dientes. Dentro de este grupo se incluyen el calcio, el fósforo y el magnesio.
- Como sales solubles que ayudan a controlar la composición de los fluidos biológicos y de las células. Entre estos se encuentra el sodio y el cloro, en los fluidos extracelulares (por ejemplo, la sangre), y el potasio, magnesio y fósforo en los intracelulares.
- Como elementos esenciales para la actividad de muchas enzimas y otras proteínas, como la hemoglobina, necesarias para la producción y utilización de energía.

⁴⁸ HART y FISHER, Op, cit., p. 554.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 LOCALIZACIÓN

5.1.1 Macrolocalización. Esta investigación se realizó en la Ciudad de Pasto, Municipio del departamento de Nariño, cabecera municipal y capital departamental. Está situada al sur del país sobre el Valle de Atriz, localizada a los 01° 12' 49" de latitud norte y 77° 16' 52" de longitud oeste. Tiene una altitud de 2559 msnm, con valores promedios anuales de 700 mm de precipitación y temperatura promedio de 14°C. El área municipal es de 1181 Km² limita por el norte con los municipios de la Florida, Chachagüí y Buesaco; por el este con el departamento del Putumayo y el municipio de Buesaco; por el sur con el departamento del Putumayo y el municipio de Funes; y por el oeste con los municipios de Tangua, Consacá, Nariño y la Florida⁴⁹.

5.1.2 Microlocalización. Las pruebas experimentales y la evaluación de los resultados se llevaron a cabo en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, respectivamente. La Universidad de Nariño se encuentra ubicada a los 01° 14' 3" de latitud Norte y 77° 17' 7" de longitud oeste con una altura de 2488 msnm.

5.2 EQUIPOS

- Deshidratador convectivo de bandejas
- Refractómetro
- pH - metro
- Alcoholímetro
- Balaza digital
- Termohidrómetro
- Mufla
- Selladora
- Probetas
- Pipetas
- Beackers
- Cápsulas de porcelana
- Crisoles de porcelana.
- desecadores

⁴⁹ INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI, Ubicación Geográfica y Espacial. Pasto, Colombia: Agustín Codazzi, 2003. 211. p.

5.3 HIPOTESIS GENERAL

En la deshidratación osmótica de zanahoria (*Daucus carota L.*) el empleo de una solución osmótica compuesta por alcohol etílico y sacarosa permite obtener un producto minimizando la pérdida de las propiedades nutritivas y organolépticas, a través de un proceso de deshidratación eficiente.

5.4 IDENTIFICACION DE VARIABLES

5.4.1 Variables Independientes.

- Concentración de azúcar (°Brix)
- Concentración de alcohol (°GL)
- Tiempo (semanas)

5.4.2 Variables Dependientes.

- Eficiencia de deshidratación
- Propiedades nutritivas
- Propiedades organolépticas

5.4.3 Constantes.

- Madurez del producto empleado
- Temperatura de la solución osmótica
- Cantidad de producto
- Volumen de la solución osmótica en cada muestra

5.5 TRATAMIENTOS

- T_s = Solución de sacarosa de 65°Bx
- T_1 = Solución de sacarosa de 50°Bx + solución de alcohol de 40°GL
- T_2 = Solución de sacarosa de 50°Bx + solución de alcohol de 50°GL
- T_3 = Solución de sacarosa de 40°Bx + solución de alcohol de 40°GL
- T_4 = Solución de sacarosa de 40°Bx + solución de alcohol de 50°GL
- T_A = Solución de alcohol de 80°GL

5.6 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

5.6.1 Material biológico.

5.6.1.1 Madurez. Los niveles elevados de madurez en la zanahoria incrementan la eficiencia del proceso de deshidratación osmótica, debido a que bajo estas condiciones, los espacios intercelulares de la estructura son más amplios. La madurez del material empleado en la investigación se determinó de acuerdo al color y el contenido de sólidos solubles totales de la zanahoria. El material seleccionado presentó un color naranja intenso, uniforme en todo el producto, con un contenido de sólidos solubles entre 7 y 7.4 °Bx. No se tuvo en cuenta el material afectado por magulladuras y pudriciones.

5.6.1.2 Acondicionamiento. Durante el acondicionamiento, las zanahorias se lavan, se pelan y trocean en rodajas de 1 mm de espesor aproximadamente. (Ver figura 5).

Figura 5. Acondicionamiento de la zanahoria para el proceso de deshidratación osmótica



5.6.2 Soluciones osmóticas. Las soluciones de sacarosa y alcohol se prepararon utilizando un refractómetro y un alcoholímetro respectivamente. Las combinaciones se realizaron en partes iguales (50% de solución de sacarosa - 50% de solución de alcohol), de acuerdo a los seis tratamientos evaluados.

5.6.3 Empaque. Una vez acondicionada la materia prima y preparadas las soluciones osmóticas se empaclaron las muestras en bolsas de polietileno calibre 3 de 13 x 25 cm. Cada muestra contenía 200 g de zanahoria en 400 ml de solución osmótica. Se prepararon 4 muestras por cada combinación, posteriormente, después de ser selladas, las bolsas se almacenaron en planta piloto a temperatura ambiente (ver figura 6).

Figura 6. Empaque de la zanahoria con las soluciones osmóticas para el proceso de deshidratación



5.6.4 Condiciones del medio. Puesto que las condiciones de temperatura y humedad relativa del medio están sujetas a variaciones, se tomaron mediciones diarias con el fin de obtener un valor promedio que sirva de referencia para la investigación. Estos valores fueron:

- Humedad relativa = 75.05%
- Temperatura = 16.26°C

5.6.5 Procedimiento. En primer lugar se evalúa la eficiencia de deshidratación para determinar el tratamiento más eficiente y el tiempo óptimo de deshidratación de todas las muestras (tiempo en el que se suspende la transferencia de agua). En el caso del tiempo se busca que pase de ser una variable independiente a ser una constante. Luego se evalúan las propiedades nutritivas y organolépticas con muestras tratadas de acuerdo al tiempo óptimo de deshidratación.

6. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DESHIDRATACIÓN

6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

6.1.1 Hipótesis específica. Una solución osmótica compuesta por sacarosa y alcohol etílico en partes iguales, ofrece la mayor eficiencia en el proceso de deshidratación de zanahoria (*Daucus carota L.*).

6.1.2 Tiempo de deshidratación. Las muestras se sometieron a un periodo de deshidratación entre 1 y 4 semanas evaluando semanalmente la pérdida de agua. Las bolsas se cubrieron con un plástico negro con el fin de evitar la exposición directa a la luz que eventualmente podría afectar el color de la zanahoria.

6.1.3 Acondicionamiento de las muestras. Después de extraer el producto de la solución osmótica se hizo un ligero lavado del mismo con la finalidad de eliminar el exceso de solución osmótica del alimento tratado. Posteriormente el producto fue sometido a un secado con aire caliente durante un tiempo aproximado de 30 minutos, con el objeto de eliminar el agua absorbida en el lavado.

6.1.4 Método de análisis de humedad. El análisis de humedad de las muestras se hizo por desecación en estufa hasta peso constante⁵⁰ de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se pesan 10 gramos de cada una de las muestras con una precisión de 1 mg, y se depositan en seis cápsulas de porcelana, previamente pesadas. Las muestras se introducen en la estufa y se secan a 100°C de temperatura, durante 36 horas aproximadamente. Para determinar el tiempo de secado al cual el peso de las muestras es constante, las cápsulas se retiran en la hora 30 y se pesan tan pronto como se equilibren con la temperatura ambiente. Se introducen las cápsulas en la estufa y se retiran nuevamente al cabo de una hora y se pesan. Esta operación se repite hasta que la variación entre dos pesadas sucesivas no exceda en 2 mg.

⁵⁰ HART y FISHER, Op, cit., p. 2.

El contenido de humedad de la muestra estándar (muestra fresca) fue de 90.97%. El cálculo del contenido de humedad de las muestras, después de la operación de deshidratación osmótica, se realizó a través de la fórmula:

$$\frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde, P_i es el peso inicial de las muestras y P_f el peso final.

En total se efectuaron 24 pruebas con tres replicas cada una (los resultados finales y el análisis estadístico se relacionan en el anexo A). Puesto que no hay variaciones importantes entre los valores obtenidos, simplemente se toma el promedio como resultado final (cuadro 4).

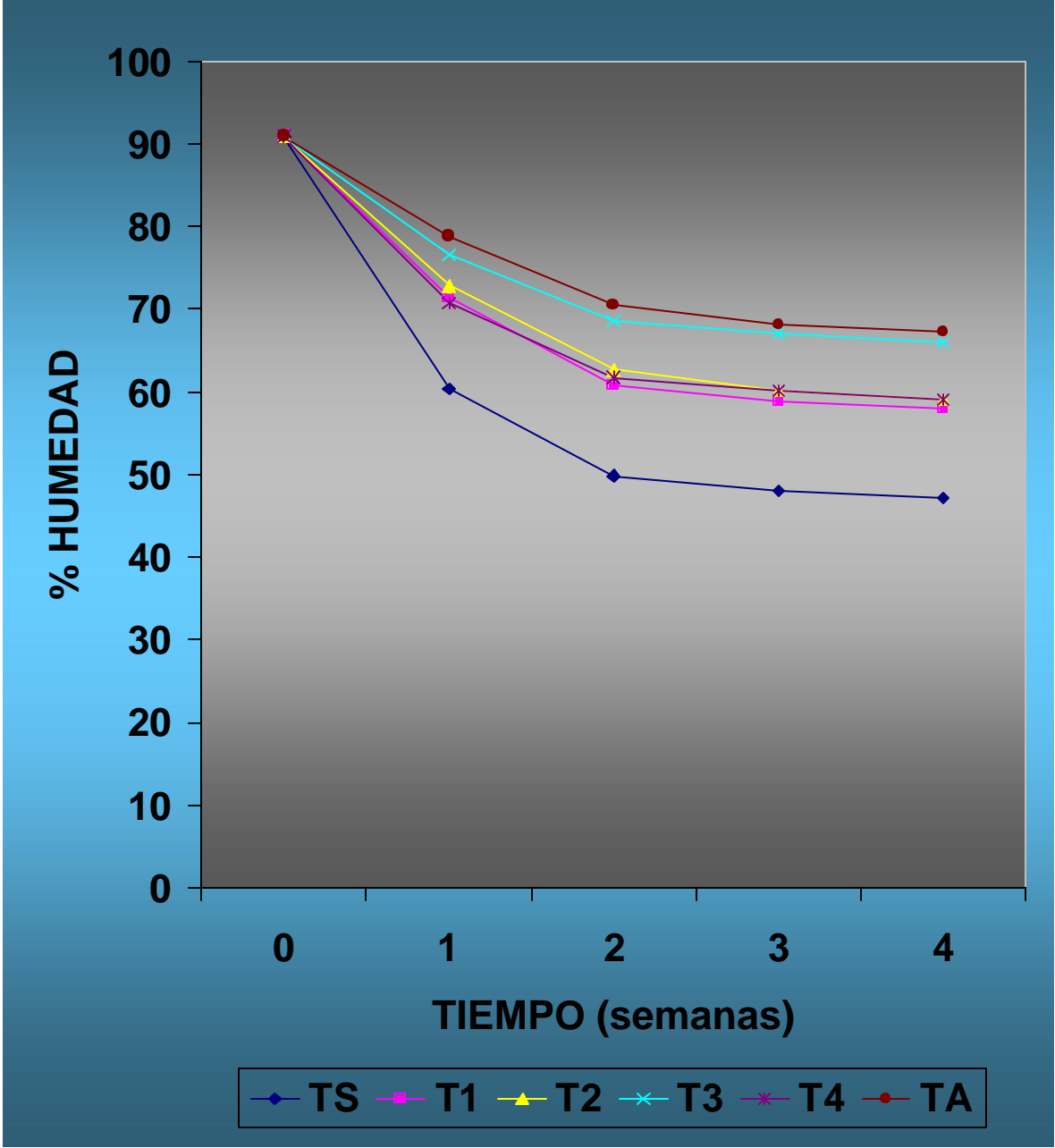
Cuadro 4. Resultados análisis de humedad de las muestras

TRATAMIENTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
TS	60.37%	49.83%	48.09%	47.22%
T1	71.45%	60.78%	58.9%	58.03%
T2	72.88%	62.68%	60.18%	59.05%
T3	76.62%	68.56%	67.07%	65.98%
T4	70.79%	61.76%	60.08%	59.11%
TA	78.90%	70.55%	68.15%	67.24%

Las curvas de deshidratación de la figura 7, indican que a partir de la segunda semana la velocidad de deshidratación para todas las muestras disminuye considerablemente. Se infiere entonces que en este punto del proceso, los potenciales químicos del agua en la solución y del agua en el producto tienden a equilibrarse y, por tanto, la pérdida de humedad de las muestras cada vez se hace más lenta.

Se toma entonces la segunda semana de operación como la óptima en el proceso de deshidratación de las muestras.

Figura 7. Curvas de deshidratación osmótica de las muestras.



6.1.5 Secado convectivo de las muestras. Como se puede observar en el cuadro 4, la deshidratación osmótica no puede llevar el producto hasta un nivel de humedad en el que se inhiba la actividad bacteriana. Las muestras del tratamiento TS, que resultó ser el tratamiento más eficiente, alcanzaron un contenido de humedad del 49%, humedad que todavía es favorable para el desarrollo de microorganismos causantes de alteraciones como hongos y bacterias.

Se hace necesario entonces, emplear un segundo método de deshidratación para llevar el producto hasta el nivel de humedad óptimo. Según Frazier⁵¹, un contenido de humedad del 20% es lo suficientemente seguro como para inhibir la actividad microbiana en hortalizas deshidratadas. Este segundo proceso de deshidratación se hizo en un secador de bandejas, con aire caliente a 60°C (ver figura 8).

El efecto de este segundo tratamiento sobre las propiedades nutritivas y organolépticas no es significativo debido a que el alimento, después de la deshidratación osmótica, ha concentrado suficientemente las sustancias volátiles responsables de estas características, lo cual disminuye considerablemente su pérdida. Igualmente, el tiempo de exposición del producto al medio convectivo (aire caliente), se reduce casi a la mitad, comparado con el secado de alimentos sin un tratamiento previo de deshidratación osmótica.

⁵¹. FRAZIER. Microbiología de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1981. p. 168.

Figura 8. Deshidratación adicional de las muestras en un secador convectivo de bandejas



6.1.6 Cálculo del tiempo de secado convectivo. El cálculo del tiempo de secado de las muestras, teniendo en cuenta que deben llegar a un contenido de humedad del 20%, se realizó de acuerdo a la curva de deshidratación que describe una muestra testigo secada con aire caliente, después de un tratamiento previo de deshidratación osmótica durante 15 días.

Las condiciones iniciales de la muestra testigo son:

- Peso de la muestra = 400 g
- Contenido de humedad (70.55%) = 282.2 g
- Contenido de sólidos (29.45%) = 117.8

El comportamiento de las variables de secado durante el tratamiento convectivo de la muestra testigo se relaciona en el cuadro 5, donde:

W = peso de la muestra
 TEA = temperatura de entrada del aire
 TSA = temperatura de salida del aire
 TBS = temperatura de bulbo seco
 TBH = temperatura de bulbo húmedo
 HRAE = humedad relativa del aire de entrada
 HRAS = humedad relativa del aire de salida
 t = tiempo de deshidratación de la muestra

Cuadro 5. Variables de secado de la muestra testigo

W(g)	TEA(°C)	TSA(°C)	TBS(°C)	TBH(°C)	HRAE(%)	HRAS(%)	t(min)
400	23.5	30.3	15.3	20	50.1	46.5	0
376	23.6	32.0	15.8	25	52.3	47.3	15
332	24.1	35.7	16.7	27	52.9	46.8	30
291	24.0	38.1	18.5	28	54.0	46.3	45
271	26.3	40.2	18.5	32	55.3	45.5	60
245	26.2	41.7	18.8	32	58.5	45.5	75
230	27.0	42.2	19.3	34	57.9	44.1	90
216	26.7	42.5	19.0	37	57.8	42.3	105
204	28.8	42.5	19.3	38	58.0	43.8	120
193	28.3	43.2	19.7	39	59.3	43.8	135
184	28.5	45.4	20.1	41	59.0	42.7	150
178	27.9	46.9	20.0	42	59.5	40.9	165
170	28.0	46.7	20.1	44	60.3	41.3	180
168	29.1	45.5	19.9	44	63.1	42.7	195
164	28.3	46.3	19.0	45	62.5	40.8	210
162	29.5	45.0	18.5	47	62.3	38.3	225
161	29.5	46.5	18.8	47	63.1	37.2	240
160	28.9	47.1	18.2	47	62.7	37.3	255
159	29.0	46.5	17.3	48	62.6	36.8	270

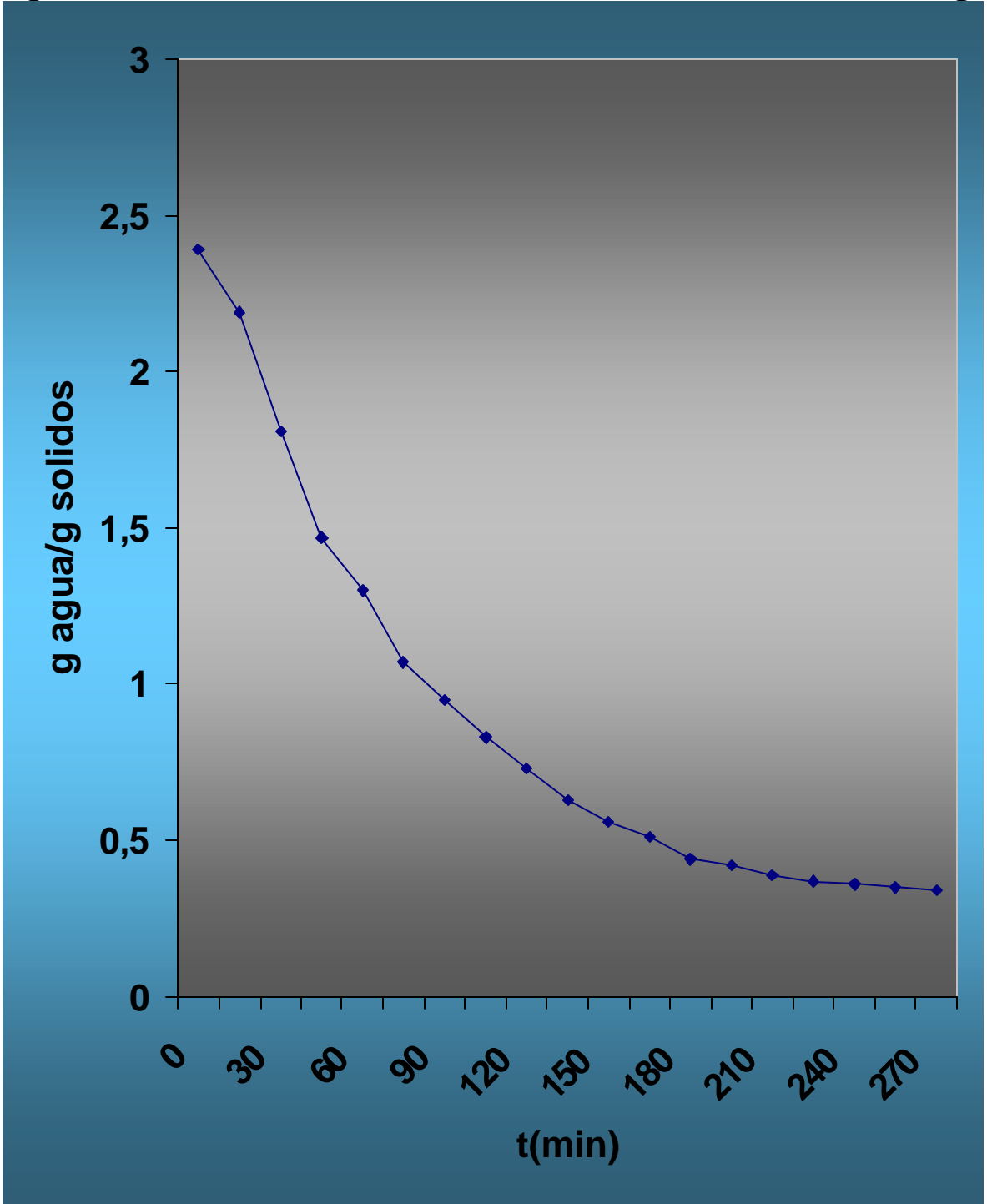
La pérdida de humedad de la muestra testigo debe expresarse como la razón entre la masa de agua extraída y la masa de sólidos secos que contiene la muestra testigo (cuadro 6), con el fin de obtener valores que puedan ser aplicados a todos los tratamientos sin necesidad de tener en cuenta, la cantidad de muestra utilizada y el contenido de humedad inicial. Estos valores se pueden calcular fácilmente si se tiene en cuenta que el contenido de sólidos de la muestra, expresado en gramos, permanece constante a lo largo del periodo de secado.

Empleando los valores del cuadro 6 se construye la curva de secado (Figura 9), con la cual se determinaron los tiempos exactos de secado convectivo de las muestras sometidas a los seis tratamientos propuestos.

Cuadro 6. Razón masa de humedad - masa de sólidos de la muestra testigo.

g de agua / g de sólidos secos	Tiempo de secado (min)
2.39	0
2.19	15
1.81	30
1.47	45
1.30	60
1.07	75
0.95	90
0.83	105
0.73	120
0.63	135
0.56	150
0.51	165
0.44	180
0.42	195
0.39	210
0.37	225
0.36	240
0.35	255
0.34	270

Figura 9. Curva de secado de la muestra testigo



La razón gramos de agua – gramos de sólidos secos de las seis muestras se presentan en el cuadro 7. Estos valores se calcularon tomando como base una muestra de 400 g de cada tratamiento. Para el cálculo de la razón inicial, se toman los porcentajes de humedad y sólidos señalados en la columna 2 del cuadro 4. El cálculo de la razón final se efectuó tomando un porcentaje de humedad del 20%, que es el contenido de humedad al que se desean llevar todas las muestras, y el porcentaje de sólidos es el mismo empleado en el cálculo de la razón inicial, puesto que el contenido de sólidos de las muestras permanece constante a lo largo del periodo de secado.

Cuadro 7. Razón inicial y final, masa de humedad – masa de sólidos secos, de las muestras a analizar

TRATAMIENTO	RAZON INICIAL	RAZON FINAL
TS	0.99	0.39
T1	1.54	0.50
T2	2.18	0.63
T3	1.67	0.53
T4	1.61	0.52
TA	2.39	0.67

El tiempo de secado de las muestras se determina empleando la figura 6. Se proyectan dos líneas horizontales desde la ubicación de los valores de la razón inicial y final en el eje vertical, hasta la curva de secado, y luego, desde los dos puntos de intercepción, proyectando dos líneas verticales hasta el eje horizontal. Contando los espacios entre las líneas verticales se determina el tiempo de secado de las muestras (cuadro 8).

Las muestras desecadas se emplearan en la evaluación de las propiedades nutritivas y organolépticas.

Cuadro 8. Tiempos calculados para el secado convectivo de las muestras

TRATAMIENTO	TIEMPO DE SECADO (min.)
TS	125
T1	135
T2	120
T3	130
T4	125
TA	145

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las curvas de deshidratación osmótica de las seis muestras estudiadas, indican que durante el periodo de deshidratación osmótica, el tratamiento TS (65°Bx) fue el mas eficiente, seguido del tratamiento T3 (50°Bx - 40°GL). De acuerdo a estos resultados la hipótesis planteada no se cumple, debido a que la eficiencia de deshidratación aumentó con el incremento de las concentraciones de sacarosa en las soluciones osmóticas. Sin embargo, no existen diferencias significativas entre los tratamientos T1 (50°Brix - 40°GL), T2 (50°Brix - 50°GL) y T4 (40°Brix - 50°GL). El análisis de humedad de las muestras indica, para los 15 días de operación, los siguientes resultados:

- T1 = 60,78% en contenido de agua
- T2 = 62,68% en contenido de agua
- T4 = 61,76% en contenido de agua

Se observa en las curvas de deshidratación osmótica, que a los 15 días de operación, se reduce considerablemente la velocidad de deshidratación en todos los tratamientos. A pesar de que a partir de ese momento la deshidratación continúa, esta ocurre a una velocidad muy lenta, resultando poco eficiente. En este punto es conveniente suspender la operación.

El tratamiento TA (80°GL) fue el menos eficiente en la deshidratación de las muestras. En general, la eficiencia de deshidratación disminuye a medida que la concentración de alcohol aumenta en la solución osmótica. Esta tendencia se presenta debido al bajo peso molecular del alcohol comparado con el peso molecular de la sacarosa.

La curva de secado convectivo (secado con aire caliente), indica tiempos de secado adicional para las muestras entre 125 y 145 minutos. Estos tiempos estuvieron directamente relacionados con el contenido de humedad de las muestras después de la deshidratación osmótica.

La velocidad de extracción de humedad es de 3 g de agua por día, tomando una base de cálculo de 100 g de zanahoria

7. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

7.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Las propiedades sensoriales a evaluar son: sabor, olor, textura y color. Estas propiedades se evaluaron siguiendo los métodos de análisis indicados por Anzaldúa⁵².

7.1.1 Hipótesis específica. El empleo de soluciones combinadas de alcohol etílico y sacarosa (50°Brix - 50°GL) en la deshidratación osmótica de zanahoria (*Daucus carota L.*) permite obtener un producto conservando sus propiedades organolépticas.

7.1.2 Selección de jueces.

7.1.2.1 Criterios de selección. La elección de los jueces se hizo de acuerdo a tres criterios principales: habilidad, disponibilidad e interés.

➤ **Habilidad.** Se identificaron las personas aptas para cada tipo de evaluación sensorial mediante la implementación de pruebas de habilidad específicas. Los jueces elegidos fueron sometidos a un entrenamiento consistente en detectar diferencias cada vez menores en la calidad del producto, mediante una serie adicional de pruebas en las cuales se les presentaron muestras de diferencias conocidas.

➤ **Disponibilidad.** Para este tipo de pruebas, es necesario que se pueda contar con los jueces en un mismo momento para poder efectuar las evaluaciones al mismo tiempo. Se establecieron desde un principio los horarios de disponibilidad de los jueces con el fin de no interferir en sus otras actividades.

➤ **Interés.** Cuando los jueces no tienen interés en las pruebas responden los cuestionarios solo para salir del paso. Por ello fue importante motivar a los jueces y detectar a aquellos que no mostraban buena disposición para llevar a cabo las evaluaciones. También se explicó a los jueces cual es el objetivo de las pruebas sensoriales y la importancia que tienen sus respuestas para la investigación.

⁵² ANZALDUA-MORALES, Op. Cit., p. 49.

7.1.2.2 Método de selección. Para la elección de los jueces se empleo el método de selección señalado por Anzaldua⁵³. Este método permite establecer el nivel de percepción de los sabores básicos: dulce, salado, ácido y amargo, y el umbral de percepción para cada uno de los sabores.

7.1.2.3 Preparación de las muestras para la selección de jueces. Se prepararon las siguientes soluciones:

- Azúcar: 10; 5; 2; 1 y 0.5 °Bx
- Sal: 10; 5; 2; 1 y 0.5%
- Ácido cítrico: 10; 5; 2; 1 y 0.5%
- Citrato de cafeína: 0.1; 0.05; 0.02; 0.01; 0.01 y 0.005%

Se colocaron 25 ml de cada solución en vasos marcados con símbolos.

7.1.2.4 Evaluación. Se entregaron las muestras a 15 candidatos a jueces para que sean ubicadas en orden descendente de concentración, ya que es más fácil identificar las soluciones mas concentradas. Los jueces recibieron además un vaso con agua para el enjuague de la boca después de cada análisis, un vaso vacío para depositar el agua de enjuague, y un cuestionario como el que se indica en el anexo B.

7.1.2.5 Calificación. Se asignaron puntajes a los resultados de acuerdo a una escala de puntuación entre 1 y 5. Se otorgó un punto a los jueces que ubicaron las muestras mas concentradas en el primer renglón; dos, si ubicaron las siguientes en el segundo; y así sucesivamente hasta completar correctamente la secuencia, en cuyo caso se otorgaron cinco puntos. Los puntajes se muestran en el cuadro 9.

⁵³ Ibid., p. 26.

Cuadro 9. Resultados de evaluación para la elección de jueces

JUECES	MUESTRAS				TOTAL
	azúcar	sal	a. cítrico	c. cafeína	
1	5	2	2	3	12
2	5	5	5	2	17
3	2	2	2	3	9
4	3	5	5	5	18
5	3	3	3	1	10
6	3	1	2	3	9
7	3	1	3	1	8
8	3	3	2	1	9
9	2	2	3	5	12
10	3	3	5	5	16
11	5	3	5	3	16
12	3	5	3	3	14
13	5	5	2	5	17
14	2	2	3	1	18
15	3	1	3	5	12

7.1.2.6 Análisis. Los datos se sometieron a análisis estadístico empleando la Prueba de Suma de Rangos. Se obtienen los rangos máximos y mínimos consultando la tabla de totales de rangos requeridos para significancia al nivel del 5%. Los valores encontrados son los siguientes:

10 - 54

18 - 46

Donde,

10 = suma de rangos mínima insignificante

54 = suma de rangos máxima insignificante

18 = límite inferior de la significancia

46 = límite superior de la significancia

⁵⁴ ANZALDUA-MORALES, Op. Cit., p. 89.

⁵⁵ Ibid., p. 177.

Los jueces seleccionados fueron los que obtuvieron puntajes totales entre 10 y 54. Los puntajes superiores o inferiores son significativamente diferentes a los valores del intervalo, y por tanto, los jueces que otorgaron esos puntajes fueron eliminados. Finalmente el equipo de evaluación sensorial quedó conformado por 10 jueces.

7.1.2.7 Entrenamiento de los jueces. Tuvo por objeto familiarizar a los jueces con las características más relevantes del producto, desarrollando destrezas en la identificación de las propiedades organolépticas y una terminología común para expresarlas. Para esto se indicaron en forma teórica y práctica, los estándares óptimos de calidad y los defectos más comunes de la zanahoria, originados debido a un mal manejo poscosecha y a la acción de microorganismos como hongos y bacterias.

7.1.3 Pruebas de olor, sabor y textura.

7.1.3.1 Horario para las pruebas. Las evaluaciones sensoriales se realizaron en horas no muy cercanas a las de las comidas. Si el juez acaba de comer o desayunar, no se sentirá dispuesto a ingerir alimentos, y entonces podría asignar calificaciones demasiado bajas o podrían alterarse sus apreciaciones de los atributos sensoriales. Similarmente, si ya falta muy poco tiempo para la hora de la comida o la cena, el juez tendrá hambre y cualquier cosa que pruebe le agrada, así que también puede afectar significativamente sus respuestas. Teniendo en cuenta estas consideraciones, las pruebas se efectuaron los fines de semana alrededor de las 10:00 AM, o alrededor de las 4:00 PM, dependiendo de la disponibilidad de los jueces.

7.1.3.2 Acondicionamiento de las muestras. Antes del análisis organoléptico las muestras se rehidrataron, con el fin de obtener un producto similar al fresco en contenido de agua. Las condiciones de rehidratación y los resultados finales se explican detalladamente en el capítulo 10.

También fue necesario cocer las muestras. Se hizo en agua a 90°C de temperatura durante media hora, luego las muestras se colocaron en baño maría, a temperatura constante (57°C) hasta el término de las pruebas.

7.1.3.3 Cantidad de muestra. El Comité de Evaluación Sensorial de la ASTM⁵⁶, recomienda que para pruebas discriminativas, cada juez debe recibir al menos 16 ml de muestra líquida, o 28 g de alimento sólido. En las pruebas realizadas cada juez recibió seis muestras con los diferentes tratamientos, cada una con 30 g de muestra.

7.1.3.4 Codificación. Las muestras no se codificaron con números o letras que seguramente hubieran sugerido a los jueces un orden ascendente o descendente de importancia. En su lugar, se emplearon símbolos o figuras. Las muestras se presentaron aleatoriamente en la mesa de los jueces, evitando la disposición en orden lineal que a veces determina cierta preferencia por algunas muestras en particular.

7.1.3.5 Enmascaramiento del color. Para el caso de los análisis de olor y sabor, el color influye notablemente en la preferencia de los jueces. Un color desagradable puede ser asociado, inconscientemente, con un olor o sabor desagradables, alterando entonces sus respuestas para dichas propiedades. En esos casos es necesario enmascarar el color para evitar su influencia indeseable sobre las respuestas de los jueces. Para esto se iluminó el lugar de evaluación con luces de color rojo y en otros casos se redujo la entrada de luz a la habitación, con el objeto de impedir que los jueces distinguan las diferencias de color entre las muestras.

7.1.3.6 Ventilación. Para evitar la persistencia del olor fue necesario ventilar bien el lugar de prueba, entre las evaluaciones de una y otra muestra para que la sensación olfativa desaparezca. Así mismo, se exigió a los jueces no ponerse perfume antes de las pruebas, ya que esto puede interferir en el análisis de olor y sabor de las muestras.

7.1.3.7 Muestra estándar o de referencia. Adicionalmente a las seis muestras que debían ser analizadas, cada juez recibió una muestra adicional que fue utilizada como referencia para la investigación. Esta muestra consistió en zanahoria fresca con el mismo tratamiento de cocción al que fue sometido el producto evaluado.

⁵⁶ ASTM. Manual of Sensory Testing Methods. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa: ASTM STP, 1988. 434 p.

7.1.3.8 Recipientes. Las muestras se depositaron en platos blancos de poliestireno. Este material, gracias a su composición, no transfiere olores y sabores extraños al producto, que puedan interferir en el análisis de los jueces. También en las pruebas de color, este material blanco resalta el color de las muestras, haciendo más fácil la evaluación.

Con el fin de evitar la persistencia del sabor, los jueces debían enjuagarse la boca entre cada prueba de sabor. Para esto se entregaron dos vasos blancos de poliestireno, uno con agua y el otro vacío para verter el agua de enjuague.

7.1.3.9 Método de análisis y calificación. La evaluación se realizó a través del Método Discriminativo de Prueba de Comparaciones Múltiples, (numeral 4.3.2.2).

Los cuestionarios de evaluación entregados a los jueces, (anexos C, D y E), tienen un rango de calificación entre 1 y 9, de acuerdo a la conservación, disminución o potenciación de los atributos organolépticos de las muestras. Las muestras que los jueces consideraron similares al estándar, recibieron una calificación de 5; las muestras que perdieron parte de las propiedades organolépticas en comparación con el estándar, recibieron una calificación entre 4 y 1, dependiendo del grado de pérdida; y en el caso de que los atributos sensoriales se hubieran potenciado, la calificación impartida estuvo entre 6 y 9, dependiendo del nivel de ganancia.

7.1.3.10 Realización de las pruebas de sabor, olor y textura.

➤ **Evaluación del sabor.** Se indicó a los jueces que esta evaluación debe hacerse depositando la muestra en la boca y masticándola suavemente por unos segundos, sin ingerir en ningún momento el alimento. Las muestras utilizadas se depositaron en el vaso vacío. Inmediatamente finalizada la prueba los jueces debían enjuagarse la boca para analizar la siguiente muestra. La evaluación se hizo a intervalos de 5 minutos entre cada análisis. Para estas pruebas también fue indispensable enmascarar el color.

➤ **Evaluación del olor.** Las pruebas de medición del olor deben ser rápidas, para no dar tiempo a que los jueces pierdan la capacidad de evaluar el olor. Para esto se deben oler rápidamente las muestras, aspirando con fuerza y retirándolas inmediatamente de la nariz⁵⁷. Es importante enmascarar previamente el color de las muestras para evitar posibles sugerencias de los jueces.

⁵⁷ SUSKIND. Perfume. New York: Pocket books, 1987. 146 p.

➤ **Evaluación de la textura.** Al llevar a cabo pruebas sensoriales de textura, lo más importante es que quede bien claro para los jueces que es lo que ellos deben medir, puesto que la textura la integran diferentes atributos sensoriales. Los atributos que se evaluaron en esta prueba fueron: la apariencia a través de la vista, la consistencia empleando el tacto, y la masticabilidad empleando la dentadura. La habitación estuvo bien iluminada, con luz blanca, para apreciar en detalle las características del producto.

7.1.4 Pruebas para la evaluación del color. Para efectuar una medición visual del color es necesario que la iluminación del lugar de evaluación sea adecuada y, además, que la luz utilizada no proporcione color adicional alguno a los objetos. Las paredes del cuarto, así como las superficies de las mesas y otros muebles, deben ser de colores neutros, agradables y no deben afectar el estado de ánimo de los evaluadores⁵⁸. Atendiendo estas recomendaciones se utilizaron bombillas de luz blanca para la iluminación del lugar de evaluación. Las mesas y las sillas utilizadas también fueron de color blanco.

7.1.4.1 Condición de las muestras. El color de los productos generalmente se evalúa tal como se presentan al mercado, sin embargo, en este caso no es posible establecer comparaciones de color entre la zanahoria fresca y las muestras deshidratadas, debido a que el contenido de agua en los productos influye determinadamente en la intensidad del color. Por esta razón, fue necesario rehidratar el producto para que se presente a los jueces en las mismas condiciones que el producto fresco.

La muestra estándar consistió en zanahoria fresca cortada en rodajas de igual espesor que las muestras analizadas (1 mm aprox.).

Los jueces recibieron las seis muestras de 30 g cada una, más la muestra estándar. Los recipientes utilizados fueron platos blancos de poliestireno. Adicionalmente se entregaron a los jueces la escala de intervalo para la medición del color (anexo F) y el cuestionario de evaluación (anexo G).

7.1.4.2 Método de análisis y calificación. La evaluación se efectuó a través del Método Descriptivo de Calificación por medio de Escalas de Intervalo⁵⁹. La principal ventaja de este método es que los puntos intermedios están indicados en la escala y no dejados completamente al criterio de los jueces.

⁵⁸ ANZALDUA-MORALES, Op. Cit., p. 14.

⁵⁹ Ibid., p. 96.

Para esta evaluación la escala de color se construyó utilizando el programa Paint, del sistema operativo Windows. Este programa permite establecer numéricamente los niveles de matiz, brillo y saturación de los colores. La escala cuenta con 32 colores dentro del rango del naranja (anexo F). El aumento o disminución en la intensidad del color está determinada por el incremento o reducción de los niveles de luminosidad. En la escala el número 32 representa el color con el nivel más bajo de luminosidad, (color más tenue), mientras que el número 1 representa el color con el nivel más alto de luminosidad (color más intenso).

El número 18 representa el color de la muestra estándar. Tomando como base este valor, los jueces asignaron los puntajes a las muestras dependiendo de si su color es igual, inferior o superior en intensidad al color de la muestra estándar.

Los niveles de matiz, brillo y saturación para la muestra estándar y los puntos extremos de la escala de color son los siguientes:

- Color de la muestra estándar (18)

matiz: 18	rojo: 253
saturación: 235	verde: 145
Luminosidad: 145	azul: 55

- Color del intervalo extremo inferior (1)

matiz: 18	rojo: 254
saturación: 235	verde: 216
luminosidad: 206	azul: 184

- Color del intervalo extremo superior (32)

matiz: 18	rojo: 242
saturación: 235	verde: 111
luminosidad: 115	azul: 2

7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.2.1 Evaluación del sabor. Los resultados de la evaluación sensorial del sabor se presentan en el cuadro 10. Los datos se someten a análisis de varianza (nivel de significancia del 5%) para determinar si existen diferencias significativas entre los resultados finales de los jueces. El procedimiento es el siguiente:

- Numero de jueces (n)
n = 10

- Numero de muestras (m)
m = 6
- Grados de libertad de los jueces (GLj)
GLj = n - 1 = 10 - 1 = 9

Cuadro 10. Resultados de la evaluación sensorial del sabor

JUECES	MUESTRAS						TOTAL
	TS	T1	T2	T3	T4	TA	
1	3	2	3	3	3	4	18
2	1	4	3	3	3	5	19
3	2	2	4	4	4	4	20
4	1	3	4	3	3	4	18
5	3	3	2	4	4	3	19
6	3	2	3	4	5	5	22
7	2	4	2	3	4	4	19
8	3	2	3	4	3	4	19
9	2	4	2	3	4	5	20
10	1	3	4	2	4	4	18
TOTAL	21	29	30	33	37	42	192

- Grados de libertad de las variables (GLv)
GLv = m - 1 = 6 - 1 = 5
- Grados de libertad totales (GLt)
GLt = (n x m) - 1 = (10 x 6) - 1 = 59
- Grados de libertad residual (GLr)

$$GLr = GLt - GLv - GLj$$

$$GLr = 59 - 5 - 9 = 45$$

- Factor de corrección (Fc)

$$Fc = \frac{(\sum X_{ij})^2}{n \times m} = \frac{(192)^2}{10 \times 6} = 614.4$$

- Suma de cuadrados de las variables (SCv)

$$SCv = \frac{(? T1)^2 + (? T2)^2 + \dots + (? TA)^2}{N} - Fc$$

$$SCv = \frac{(21)^2 + (42)^2 + (30)^2 + (33)^2 + (29)^2 + (37)^2}{10} - 614.4 = 26$$

- Suma de cuadrados de los jueces (SCj)

$$SCj = \frac{(? J1)^2 + (? J2)^2 + \dots + (? JA)^2}{m} - Fc$$

$$SCj = \frac{3(18)^2 + 4(19)^2 + 2(20)^2 + (22)^2}{10} - 614.4 = 2.26$$

- Suma de cuadrados totales (SCt)

$$SCt = (X_{11})^2 + (X_{12})^2 + \dots + (X_{mn})^2 - Fc$$

$$SCt = 3(1)^2 + 3(1)^2 + 3(1)^2 + 3(1)^2 + 3(1)^2 - 614.4 = 57.6$$

- Suma de cuadrados residual (SCr)

$$SCr = SCt - SCv - SCj$$

$$SCr = 57.6 - 26 - 2.26 = 29.34$$

- Varianza debida a las variables (Vv)

$$Vv = \frac{SCv}{GLv} = \frac{26}{5} = 5.2$$

- Varianza debida a los jueces (Vj)

$$V_j = \frac{SC_j}{GL_v} = \frac{2.26}{9} = 0.25$$

- Varianza residual (Vr)

$$V_r = \frac{SC_r}{GL_{vr}} = \frac{29.34}{45} = 0.652$$

- Valor de distribución Fv calculado

$$F_v = \frac{V_v}{V_r} = \frac{2.26}{9} = 0.25$$

- Valor de distribución Fj calculado

$$F_j = \frac{V_j}{V_r} = \frac{0.25}{0.652} = 0.383$$

- Valor de distribución Fv crítico*

$$F_v = 2.43$$

- Valor de distribución Fj crítico*

$$F_j = 2.115$$

Si los valores de distribución F calculados son menores que los valores de distribución F críticos, no hay efecto significativo de la fuente de variación considerada sobre los resultados; en cambio si es mayor o igual, si hay diferencia significativa y se debe establecer la magnitud de esa diferencia.

* Valores tomados de las tablas de distribución F.

ANZALDÚA-MORALES, Antonio. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Zaragoza España: Acribia, 1994. p. 165.

Para los jueces el F calculado (0.383) es menor que el F crítico (2.115), y por tanto, no hay diferencia significativa. Esto indica que los puntajes asignados por los jueces en la evaluación, se encuentran dentro de un rango normal de varianza y que se pueden aceptar. En este caso, no hubo puntajes demasiado altos, ni demasiado bajos, que pudieran sugerir errores de apreciación por parte de los jueces. La no existencia de diferencias significativas en este sentido, otorga confiabilidad a los resultados finales.

En el caso de las variables el F calculado (7.9759), es superior al F crítico (2.43), en consecuencia, si hay diferencia significativa. Este resultado indica que no hay confiabilidad en los datos obtenidos, puesto que hay mucha variación entre los puntajes. Entonces es necesario establecer cual es la diferencia mínima significativa (DMS) entre las muestras para así saber el significado real de los resultados. Para ello se aplica la Prueba de Tukey como se indica a continuación⁶⁰:

- Se calculan las medias de cada tratamiento

TS	T1	T2	T3	T4	TA
2.1	2.9	3	3.3	3.7	4.2

- Se ordenan de mayor a menor

TA	T4	T3	T2	T1	TS
4.2	3.7	3.3	3	2.9	2.1

- Se calcula el error estándar (ε)

$$\epsilon = \frac{[\sum (X - \bar{X})^2 / n]^{1/2}}{[n - 1]^{1/2}} = \frac{[2.6 / 6]^{1/2}}{[6 - 1]^{1/2}} = 0.2943$$

- Se consulta la tabla de rangos estudentizados significativos, RES. (Anzaldúa, 173).

$$RES = 4.21$$

⁶⁰ WALPOLE, Ronald y MYERS, Raymond. Probabilidad y Estadística. México: McGraw Hill, 1997. p. 509.

- Se calcula la diferencia mínima significativa, DMS

$$DMS = \epsilon \times RES = 0.2943 \times 4.21 = 1.23$$

- Se comparan las diferencias entre las medias. Aquellas diferencias mayores a DMS se consideran significativas:

TA - TS = 4.2 - 2.1 = 2.1 > 1.23 si hay diferencia
 TA - T1 = 4.2 - 2.9 = 1.3 > 1.23 si hay diferencia
 TA - T2 = 4.2 - 3 = 1.2 < 1.23 no hay diferencia
 TA - T3 = 4.2 - 3.3 = 0.9 < 1.23 no hay diferencia
 TA - T4 = 4.2 - 3.7 = 0.5 < 1.23 no hay diferencia
 T4 - TS = 3.7 - 2.1 = 1.6 > 1.23 si hay diferencia
 T4 - T1 = 3.7 - 2.9 = 0.8 < 1.23 no hay diferencia
 T4 - T2 = 3.7 - 3 = 0.7 < 1.23 no hay diferencia
 T4 - T3 = 3.7 - 3.3 = 0.4 < 1.23 no hay diferencia
 T3 - TS = 3.3 - 2.1 = 1.2 < 1.23 no hay diferencia
 T3 - T1 = 3.3 - 2.9 = 0.4 < 1.23 no hay diferencia
 T3 - T2 = 3.3 - 3 = 0.3 < 1.23 no hay diferencia
 T2 - TS = 3 - 2.1 = 0.9 < 1.23 no hay diferencia
 T2 - T1 = 3 - 2.9 = 0.1 < 1.23 no hay diferencia
 T1 - TS = 2.9 - 2.1 = 0.8 < 1.23 no hay diferencia

Se presentan diferencias significativas entre los tratamientos:

TA - TS = 2.1
 TA - T1 = 1.3
 T4 - TS = 1.6

Del análisis se puede decir que la diferencia mas alta se presenta entre los tratamientos TA (solución de alcohol, 80°GL) y TS (solución de sacarosa, 65°Bx). Las muestras del tratamiento TA fueron las que mejor conservaron el sabor, mientras que las muestras sometidas al tratamiento TS fueron las que mas modificaciones sufrieron en cuanto a esta propiedad.

Fuera del tratamiento testigo TS, el tratamiento T1 (solución combinada, 50°Bx - 40°GL) fue el que más afecto el sabor propio de la zanahoria. La diferencia numérica es de 2.1 puntos en promedio, de acuerdo a la escala de puntuación utilizada y en comparación con la muestra estándar.

Por otra parte, fuera del tratamiento testigo TA, el tratamiento T4 (solución combinada, 40°Bx - 50°GL) fue el que mejor conservó el sabor de las muestras. La diferencia numérica es de 1.3 puntos en promedio tomando como referencia la muestra estándar.

Esta tendencia se observa en todos los tratamientos. El sabor se ve afectado en mayor magnitud, en la medida en que la solución osmótica presenta mayor concentración de sacarosa que de alcohol. Esto se explica por la diferencia en la volatilidad de los solutos, siendo el alcohol el soluto más volátil, y por tanto, el más fácilmente removible durante la operación de secado.

7.2.2 Evaluación del olor. Los resultados de la evaluación sensorial del olor se presentan en el cuadro 11. Los datos se someten a análisis de varianza, en la manera que se explica detalladamente en el numeral 7.2.1. Con los resultados obtenidos se construye la tabla de análisis de varianza (cuadro 12) y se determina la significancia de cada fuente de variación.

Cuadro 11. Resultados de la evaluación sensorial del olor

JUECES	MUESTRAS						TOTAL
	TS	T1	T2	T3	T4	TA	
1	3	4	4	3	5	3	22
2	3	3	3	4	3	4	20
3	2	4	5	3	4	3	21
4	4	3	3	2	3	5	20
5	3	4	4	4	4	3	22
6	4	5	3	3	4	3	22
7	2	3	5	3	5	3	21
8	3	4	4	4	3	4	22
9	4	2	4	4	2	5	21
10	3	3	3	3	4	4	20
TOTAL	31	35	38	33	37	37	211

Cuadro 12. Análisis de varianza para los datos de la evaluación sensorial del olor

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	VARIANZA ESTIMADA	F CALCULADO	F CRÍTICO *
Tratamiento	5	3.7	0.74	0.98	2.43
Jueces	9	1.16	0.12	0.16	2.11
Residual	45	34.14	0.75	---	---
Total	59	39	---	---	---

Tanto para los jueces como para las variables, no hay diferencias significativas. En el caso de las variables el análisis estadístico indica que no existen diferencias notables en el efecto que tuvieron los diferentes tratamientos sobre el olor característico de la zanahoria. Se infiere entonces que los seis tratamientos generan prácticamente el mismo efecto sobre esta propiedad. En promedio, y de acuerdo a la escala de puntuación empleada, las muestras difieren 1.48 puntos con relación al sabor de la muestra estándar.

7.2.3 Evaluación de la textura. Se sigue el mismo procedimiento empleado en la evaluación del olor. Los resultados se muestran en los cuadros 13 y 14.

* Para un nivel de significancia del 5%

Cuadro 13. Resultados de la evaluación sensorial de la textura

JUECES	MUESTRAS						TOTAL
	TS	T1	T2	T3	T4	TA	
1	3	3	3	3	2	2	16
2	4	2	1	3	3	2	15
3	2	4	3	3	3	3	18
4	3	3	2	2	4	2	16
5	1	2	4	4	2	3	16
6	3	3	2	3	3	3	17
7	2	4	3	3	2	1	15
8	2	2	3	4	3	3	17
9	3	3	2	2	3	3	16
10	3	3	2	3	2	2	15
TOTAL	26	29	25	30	27	24	161

Cuadro 14. Análisis de varianza para los datos de la evaluación sensorial de la textura

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	VARIANZA ESTIMADA	F CALCULADO	F CRITICO *
Tratamiento	5	2.7	0.54	0.84	2.43
Jueces	9	1.5	0.16	0.25	2.11
Residual	45	28.8	0.64	---	---
Total	59	33	---	---	---

No hay diferencias significativas en las dos fuentes de variación consideradas. La diferencia entre la textura de las muestras estudiadas y la textura de la muestra estándar es de 2.31 puntos en promedio, diferencia que puede considerarse como alta y que probablemente se originó por modificaciones en la estructura del producto ocurridas durante la deshidratación, o bien, a la imposibilidad de rehidratar las muestras hasta su contenido normal de agua.

* Para un nivel de significancia del 5%

7.2.4 Evaluación del color. Se sigue el mismo procedimiento empleado en la evaluación del olor y la textura. Los resultados se muestran en los cuadros 15 y 16.

Cuadro 15. Resultados de la evaluación sensorial del color

JUECES	MUESTRAS						TOTAL
	TS	T1	T2	T3	T4	TA	
1	21	20	19	18	17	10	105
2	22	19	19	18	18	9	105
3	20	19	20	19	18	10	106
4	22	18	19	18	19	11	107
5	22	19	18	18	18	9	104
6	22	19	18	19	19	9	106
7	20	18	19	18	19	10	104
8	21	19	19	19	18	10	106
9	20	19	18	18	18	11	104
10	21	19	18	17	18	10	103
TOTAL	211	189	187	182	182	99	1050

Cuadro 16. Análisis de varianza para los datos de la evaluación sensorial del color

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	VARIANZA ESTIMADA	F CALCULADO	F CRITICO*
Tratamiento	5	751	150.2	285.5	2.43
Jueces	9	2.33	0.25	0.47	2.11
Residual	45	23.67	0.526	---	---
Total	59	777	---	---	---

* Para un nivel de significancia del 5%

El análisis de varianza determina que no hay diferencias significativas para los jueces, pero si para las variables. Entonces se debe establecer la diferencia mínima significativa (DMS) entre las muestras aplicando la Prueba de Tukey:

- Cálculo de las medias

TS	T1	T2	T3	T4	TA
21.1	18.9	18.7	18.2	18.2	9.9

- Cálculo del error estándar (ϵ)

$$\epsilon = \frac{[\sum (X - \bar{X})^2 / n]^{1/2}}{[n - 1]} = \frac{[75.1 / 6]}{[6 - 1]} = 1.58$$

- RES = 4.21

- DMS = $\epsilon \times RES = 1.5821 \times 4.21 = 6.66$

- Diferencias significativas

TS - TA = 21.1 - 9.9 = 11.2 > 6.66 si hay diferencia
 TS - T4 = 21.1 - 18.2 = 2.9 < 6.66 no hay diferencia
 TS - T3 = 21.1 - 18.2 = 2.9 < 6.66 no hay diferencia
 TS - T2 = 21.1 - 18.7 = 2.4 < 6.66 no hay diferencia
 TS - T1 = 21.1 - 18.9 = 2.2 < 6.66 no hay diferencia
 T1 - TA = 18.9 - 9.9 = 9 > 6.66 si hay diferencia
 T1 - T4 = 18.9 - 18.2 = 0.7 < 6.66 no hay diferencia
 T1 - T3 = 18.9 - 18.2 = 0.7 < 6.66 no hay diferencia
 T1 - T2 = 18.9 - 18.7 = 0.2 < 6.66 no hay diferencia
 T2 - TA = 18.7 - 9.9 = 8.8 > 6.66 si hay diferencia
 T2 - T4 = 18.7 - 18.2 = 0.5 < 6.66 no hay diferencia
 T2 - T3 = 18.7 - 18.2 = 0.5 < 6.66 no hay diferencia
 T3 - TA = 18.2 - 9.9 = 8.3 > 6.66 si hay diferencia
 T3 - T4 = 18.2 - 18.2 = 0 < 6.66 no hay diferencia
 T4 - TA = 18.2 - 9.9 = 8.3 > 6.66 si hay diferencia

Del análisis puede decirse que TA es significativamente diferente a los demás tratamientos, pero no hay diferencias significativas entre los tratamientos TS, T1, T2, T3 y T4. Estos resultados generalmente se expresan de la siguiente manera:

TS	T1	T2	T3	T4	TA
21.1 ^a	18.9 ^a	18.7 ^a	18.2 ^a	18.2 ^a	9.9 ^b

Esta es una notación convencional para indicar la significancia: los números seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes entre si, mientras que dos números marcados con letras distintas son significativamente diferentes entre si.

Los tratamientos marcados con la letra a, intensificaron el color de las muestras con relación al estándar. El tratamiento TS es ligeramente superior a los demás, sin embargo, de acuerdo a la Prueba de Tukey, puede considerarse que estos 5 tratamientos generaron prácticamente el mismo efecto sobre las muestras, en cuanto al color.

El tratamiento marcado con la letra b, disminuyó la intensidad del color de las muestras en gran medida. Esto se observó incluso en la etapa experimental, donde la despigmentación del producto fue evidente durante la inmersión de las muestras en esta solución osmótica.

En relación con la hipótesis planteada, esta no se cumple, debido a que en todos los tratamientos el producto deshidratado, sufre en mayor o menor grado una pérdida de las características organolépticas. El color, es la propiedad organoléptica que mejor se conserva, mientras que el sabor, olor y la textura sufren modificaciones mas pronunciadas.

8. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRITIVAS

8.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

8.1.1 Hipótesis específica. El empleo de soluciones combinadas de alcohol etílico y sacarosa (50°Brix – 50 °GL) en la deshidratación osmótica de zanahoria (*Daucus carota L.*) permite obtener un producto minimizando la pérdida de las propiedades nutritivas.

8.1.2 Evaluación del contenido de minerales. El análisis de minerales en las muestras se realizó de forma global (análisis de cenizas) y no individualmente, puesto que el contenido de minerales dentro de la composición nutricional es bajo con respecto a los demás componentes (cuadro 2).

Al determinar los niveles de los nutrientes inorgánicos de los alimentos el primer objetivo consiste en obtener los minerales de forma concentrada, separados de cuantas fuentes de interferencia sea posible. Esto se consigue destruyendo los componentes orgánicos del alimento por oxidación húmeda con ácido sulfúrico o nítrico concentrado o por incineración seca.

En esta investigación la materia inorgánica total se determinó por incineración seca de la muestra de alimento. La materia orgánica se quema a la temperatura mas baja posible y la materia remanente se enfría y pesa. El calentamiento se realizó en etapas, primero para eliminar el agua, luego para carbonizar el producto y, finalmente, para incinerar en horno de mufla a 550°C. El procedimiento fue el siguiente:

- Se colocó en horno de mufla durante 20 minutos seis crisoles de porcelana.
- Luego se sacaron los crisoles para ser enfriados durante una hora en desecador. Una vez enfriados a temperatura ambiente, se pesó cada crisol hasta el mg más próximo.
- Después se pesaron 10 g de cada una de las muestras en un crisol individual, hasta el miligramo más próximo.
- Se colocaron los crisoles sobre una placa caliente en vitrina de gases en la cual se incrementó lentamente la temperatura hasta que cesó el desprendimiento de humo y las muestras aparecieron totalmente carbonizadas.

- Posteriormente se colocaron los crisoles en el interior del horno de mufla, lo más cerca posible del centro, para ser incinerados durante la noche a 550°C.
- Luego se sacaron los crisoles de la mufla y se colocaron, al menos, una hora en el desecador y se dejaron enfriar.
- Una vez enfriado a temperatura ambiente se volvió a pesar cada crisol hasta el mg más próximo.
- Finalmente se calculó por diferencia el peso de las cenizas, a través de la fórmula siguiente:

$$\text{Contenido de cenizas} = (w_2/w_1) \times 100.$$

Donde,

w_1 = peso en gramos de la muestra
 w_2 = peso en gramos de las cenizas

8.1.3 Evaluación del contenido de vitamina A. Muchas vitaminas son componentes lábiles y las cantidades a medir en el procedimiento analítico final, frecuentemente ascienden solo a unos pocos microgramos. Durante la manipulación y subsiguiente análisis de las muestras, se tomaron, por tanto, precauciones adicionales para asegurar que factores tales como el pH, el calor, la luz y el aire no destruyan las vitaminas.

Como ya se mencionó anteriormente la vitamina A pertenece al grupo de vitaminas liposolubles. Para la determinación de las vitaminas liposolubles se dispone de dos clases principales de métodos: los biológicos y los químicos. De estos los métodos biológicos tienen la ventaja de aportar una estimación exacta de la biopotencia, sin necesidad de la separación de componentes, sin embargo, adolecen del inconveniente de que el tiempo de análisis es muy largo, por tanto, se empleó un método químico. La separación preliminar de las vitaminas se efectuó por saponificación y extracción de la fracción insaponificable que contiene las vitaminas.

El método químico utilizado se basa en el efecto que ejerce la luz ultravioleta sobre la vitamina A. Esta vitamina absorbe en la región ultravioleta del espectro con un máximo a 325 nm y esta propiedad es la que se usa para su cuantificación. El método es rápido y sensible, pero presenta la desventaja de que es poco específico.

Algunas otras sustancias absorben en la misma región del espectro en que absorbe la vitamina A y su contribución a la absorción total se tuvo en cuenta para el cálculo de los resultados finales. Esto se hizo utilizando una fórmula de corrección para determinar la presencia de estas sustancias y para corregir el error debido a su absorción en la región de 325 nm.

La extinción de vitamina A pura en isopropanol a 310 nm y 334 nm es apenas de 6/7 de la extinción máxima. Así que si la extinción a 325 nm se normaliza a 1, entonces la absorbancia a 310 nm y 334 nm es 0.857. La extinción corregida a 325 nm (E_{corr}) puede obtenerse aplicando la fórmula siguiente:

$$E_{corr} = 7E_{325} - 2.625E_{310} - 4.375E_{334}$$

Los materiales empleados en la determinación de la vitamina A, fueron:

- Isopropanol
- Solución patrón de vitamina A
- Muestras de zanahoria
- Espectrofotómetro de luz ultravioleta
- Lámpara de luz ultravioleta

Se midió la extinción a 325 nm de cada una de las muestras de zanahoria recientemente diluidas en isopropanol contra un blanco constituido por solvente (F_1), se sacó la cubeta, se expuso a la luz ultravioleta hasta cuando la extinción permaneció constante y se anotó nuevamente la absorbancia (F_2), posteriormente se trató el patrón de vitamina A en la misma forma (PF_1 y PF_2) y se calculó la concentración de vitamina A en las muestras así:

$$\text{Concentración de vitamina A } (\mu\text{g/ml}) = \frac{F_1 - F_2}{PF_1 - PF_2} \times 1 \times E_{corr}$$

Se registró el espectro de absorción entre 280 y 380 nm de la mezcla recién diluida y se comparó con el espectro de absorción de la solución patrón de vitamina A.

8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.2.1 Análisis del contenido de minerales (cenizas). Este análisis se realizó a una muestra fresca (muestra estándar) y a cada una de las muestras sometidas a los seis tratamientos. Los resultados obtenidos del análisis de cenizas mediante el método de incineración se presentan en el cuadro 17.

Cuadro 17. Resultados de la determinación de cenizas

MUESTRA	CENIZA (% base seca)
Muestra estándar	7.09
TS	1.37
T1	1.40
T2	1.53
T3	1.75
T4	1.88
TA	5.19

En los resultados obtenidos, se puede observar que las cenizas se ven afectadas en gran medida después del proceso de deshidratación. El análisis de las muestras indica valores entre 1,37 y 5,19 %, mientras que la muestra estándar presentó un porcentaje de cenizas en base seca de 7.09 %. Después del tratamiento TA (solución osmótica de 80 °G.L), el tratamiento T4 (40°Brix – 50°GL) es el que más favorece la conservación de cenizas en el producto final.

En general, la pérdida de cenizas disminuye con el incremento de la concentración de alcohol en la solución osmótica debido, muy posiblemente, a que las soluciones de alcohol no transfieren sólidos al producto. Esto se puede observar analizando los resultados del tratamiento testigo TA (80°GL) donde la pérdida de cenizas en relación a la muestra estándar fue solo del 1,9%. Las soluciones de sacarosa debido a su elevado peso molecular, pueden aportar cierta cantidad de sólidos a las muestras y así afectar el cálculo final de cenizas.

8.2.2 Análisis del contenido de vitamina A. Los resultados obtenidos del análisis de vitamina A, de la muestra estándar y de cada uno de los tratamientos al cabo de las cuatro semanas de proceso se presentan en el cuadro 18.

Cuadro 18. Resultados de la determinación de vitamina A

MUESTRA	VITAMINA A (UI)
Muestra estándar	6860
TS	6850
T1	6845
T2	6842
T3	6844
T4	6848
TA	6840

Todas las muestras sometidas a los diferentes tratamientos presentaron pérdidas de vitamina A relativamente bajas. Los valores de las seis muestras variaron entre 6840 y 6850 UI, mientras que la muestra estándar presentó un contenido de vitamina A de 6860 UI. Sin tener en cuenta los tratamientos testigo, el tratamiento en el que se obtuvieron las pérdidas mas bajas de vitamina A fue el T4 (Solución combinada 40 °Brix -50 °G.L) cuyo valor final fue de 6848 UI.

No se presentan diferencias significativas entre los seis tratamientos. Igualmente, la leve pérdida de vitaminas no sigue un patrón definido de acuerdo a la mayor o menor concentración de alcohol o sacarosa, como ocurrió en las pruebas anteriores.

La hipótesis planteada se cumple parcialmente. Las muestras sufrieron una pérdida considerable de cenizas, pero no perdidas importantes de vitamina A.

9. EMPAQUE

El empaque ha sido, a través del tiempo, el elemento básico para llegar con un producto en buenas condiciones a un mercado determinado y sin cuya protección, éste sufriría deterioro, hasta llegar a la inutilización parcial o total del producto. Un producto alimentario, bien en estado bruto o transformado, está llamado a soportar, entre su lugar de producción y su lugar de consumo, diversas operaciones de almacenamiento, mantenimiento y transporte durante las cuales el empaque juega un papel de protección esencial

La contribución principal del empaque es la de hacer eficiente el sistema de distribución física, creando protección, reduciendo pérdidas, manteniendo la calidad nutricional favoreciendo su venta y comercialización. En la actualidad, la pureza e inercia química obtenidas en los distintos tipos de materiales que están en contacto con los alimentos, impiden cualquier riesgo toxicológico con un alto grado de seguridad.

El Instituto colombiano de Normas Técnicas ICONTEC en su norma 1573 define el término empaque como “el objeto destinado a contener temporalmente un producto o conjunto de productos durante su manipulación, transporte, almacenamiento, o presentación a la venta a fin de protegerlos, identificarlos y facilitar dichas operaciones”.

El empaque protege el producto de cualquier tipo de deterioro, bien sea de naturaleza química, microbiología, física o mecánica, esto significa preservar la calidad inicial del producto por un tiempo relativamente largo.

9.1 CALIDAD DEL PRODUCTO EMPACADO

Cuando se habla de calidad en el producto alimentario empacado, se hace necesario distinguir en este concepto global tres características específicas que están estrechamente relacionadas: calidad higiénica, calidad nutritiva y calidad organoléptica o sensorial.

9.1.1 Calidad higiénica. El alimento no debe contener ningún elemento tóxico en dosis peligrosas para el consumidor. Todo producto alimentario tiene un periodo de vida útil durante el cual no hay riesgo de alteración, este periodo debe ser evaluado individualmente de acuerdo a la naturaleza del producto estudiado, al tipo de empaque a utilizar y las condiciones de almacenamiento⁶¹.

9.1.2 Calidad nutritiva. En este caso, por una parte se debe tener en cuenta, un aspecto cuantitativo de la energía acumulada en forma química (almidón, lípidos, etc.) de la que es preciso evitar su degradación; y por otra parte, debe considerarse un aspecto cualitativo para mantener el equilibrio nutricional del alimento con respecto a las necesidades del consumidor⁶¹.

9.1.3 Calidad organoléptica o sensorial. La calidad sensorial de un alimento es extremadamente sensible a las condiciones de empaque. Un mal almacenaje o un empaque inadecuado puede conducir a la aparición de olores o gustos desagradables o a modificaciones de la consistencia, que provoquen el rechazo del consumidor potencial⁶¹.

9.2 REQUISITOS DEL EMPAQUE COMO MEDIO DE CONSERVACIÓN

9.2.1 Inocuidad e inercia. En algunos casos el propio empaque puede ser fuente de contaminación. Tanto el material del empaque, como la utilización de tintas y barnices, pueden aportar sustancias tóxicas como el plomo, el estaño o el cloruro de vinilo.

9.2.2 Protección mecánica. La protección mecánica es la primera función de todo empaque. Los alimentos en función de su estado físico, deben protegerse contra impactos durante el transporte o almacenamiento, que eventualmente podrían romper el producto.

9.2.3 Barrera frente al oxígeno y al vapor de agua. Para evitar el desarrollo de mohos y bacterias aerobias y para evitar la rehidratación.

9.2.4 Barrera frente a las transferencias inversas. Es decir, flujos desde el interior hacia el exterior, para evitar la fuga de aromas específicos que puede afectar la calidad organoléptica del producto.

⁶¹ BUREAO y MULTON. Embalaje de los alimentos de Gran Consumo. Zaragoza, España: Acibia, 1995. p. 6.

9.2.5 Transferencia de energía radiante (luz) Par evitar la entrada de luz que puede originar reacciones fotoquímicas, responsables de alteraciones del color y pérdida de vitaminas.

9.2.6 Transferencia de calor por radiación, convección y conducción.

El carácter aislante de un empaque es una característica muy útil, para evitar que el producto alcance valores de temperatura que sobrepasen los umbrales críticos de buena conservación.

9.2.7 Protección frente a los microorganismos presentes en la atmósfera. Uno de los papeles esenciales del empaque es el de mantener la calidad higiénica y microbiológica de los alimentos, impidiendo la entrada de microorganismos causantes de alteraciones.

9.2.8 Función de marketing. El empaque es uno de los vectores de comunicación del producto frente a su medio ambiente. En la actualidad se considera que el empaque es el mejor vendedor del producto, por lo tanto es necesario preocuparse por la calidad, diseño, impresión, colores, litografía en general y los materiales a usar.

9.3 CONSIDERACIONES ESTABLECIDAS PARA LA ELECCIÓN DEL EMPAQUE

La selección del empaque se hizo de acuerdo a los criterios establecidos en los numerales 9.1 y 9.2. También se tuvo en cuenta las características individuales de la zanahoria deshidratada, tales como contenido de humedad y composición química. Esta información fue suministrada a una empresa nacional productora de empaques (Alico S.A)⁶², quien definió el tipo de material mas apropiado para el empaque del producto.

9.4 EMPAQUE SELECCIONADO

El material sugerido por la empresa fue el material BOPP / LDPE, que es una combinación de dos polímeros: el polipropileno biorientado (BOPP) y el polietileno de baja densidad (LDPE). Estos materiales individualmente ofrecen condiciones de protección diferentes, pero en conjunto se complementan perfectamente para ofrecer la protección mas apropiada al producto estudiado.

⁶² ALICO S.A. Una Alternativa de Servicios para la Industria [online]. Bogota: Alico, 2002 [consultado 10 de febrero de 2003]. Disponible en internet: <URL: <http://www.alico.com.co/bopp.html>>.

9.4.1 Polietileno de baja densidad (LDPE). Es un polímero obtenido a partir de unidades simples conocidas como monómeros. Consiste en una cadena de átomos de carbono, en que cada uno tiene asociados dos átomos de hidrógeno⁶³.

Es la película plástica de uso más corriente. Es resistente, transparente y tiene una permeabilidad relativamente baja al vapor de agua. Es químicamente muy inerte y carece prácticamente de olor y sabor. Una de sus principales ventajas es la facilidad con que puede cerrarse térmicamente. Posee una gran resistencia al desgarro y al impacto. Puede utilizarse en un amplio rango de temperaturas, desde - 50°C hasta 70°C aproximadamente⁶⁴.

Sin embargo, la película de polietileno de baja densidad posee una permeabilidad relativamente alta a gases como el oxígeno y el anhídrido carbónico, por lo tanto no puede ser utilizada para el empaque de alimentos oxidables.

La película de polietileno es también permeable a muchos aceites esenciales, lo cual significa, que en algunos productos, puede producirse una pérdida gradual de olor y aroma. En este sentido, también debe considerarse la posibilidad de que el producto empacado, almacenado junto a otros productos fuertemente olorosos, capte parte de este olor⁶⁵.

9.4.2 Polipropileno biorientado (BOPP). La estructura molecular del polipropileno es más complicada que la del polietileno, a causa de los grupos metílicos que están intercalados a lo largo de su estructura. El término biorientado (biaxialmente orientado) hace referencia al método empleado en su fabricación.

⁶³ MORENO, Jorge. Materiales y Empaques. Bogotá, Colombia: Universidad Estatal Abierta y a Distancia, UNISUR, 1989. p. 54.

⁶⁴ BUREAO y MULTON., Op. Cit., p. 69.

⁶⁵ Ibid., p. 70.

Los materiales orientados son los de mejor calidad, se fabrican por orientación de la película plástica a una determinada temperatura, lo cual da al material una orientación molecular en la dirección del estiramiento, aumentando de esta forma considerablemente su resistencia⁶⁶.

El polipropileno presenta una alta transparencia y presenta una mayor resistencia a la tracción que el polietileno. Tiene mejores propiedades de barrera a la humedad y a la grasa comparado con el polietileno y resiste la mayoría de los ácidos y bases. Es altamente impermeable a gases como el oxígeno y el anhídrido carbónico. El polipropileno biorientado presenta problemas en cuanto al sellado térmico debido a la pérdida de orientación que se produce en la zona de cierre⁶⁷.

9.4.3 Características del empaque BOPP / LDPE. De acuerdo a las especificaciones de los fabricantes, el empaque BOPP / LDPE combina las propiedades del polietileno de baja densidad (resistencia al desgarro y al impacto, altamente impermeable al vapor de agua, fácil sellado al calor) y el polipropileno biorientado (barrera contra el oxígeno, anhídrido carbónico, agua líquida, grasas y aceites esenciales), ofreciendo una impermeabilidad casi total a la fuga y entrada de sustancias. En la figura 10 se puede observar el producto final ya empacado.

Ficha Técnica del Empaque BOPP / LDPE

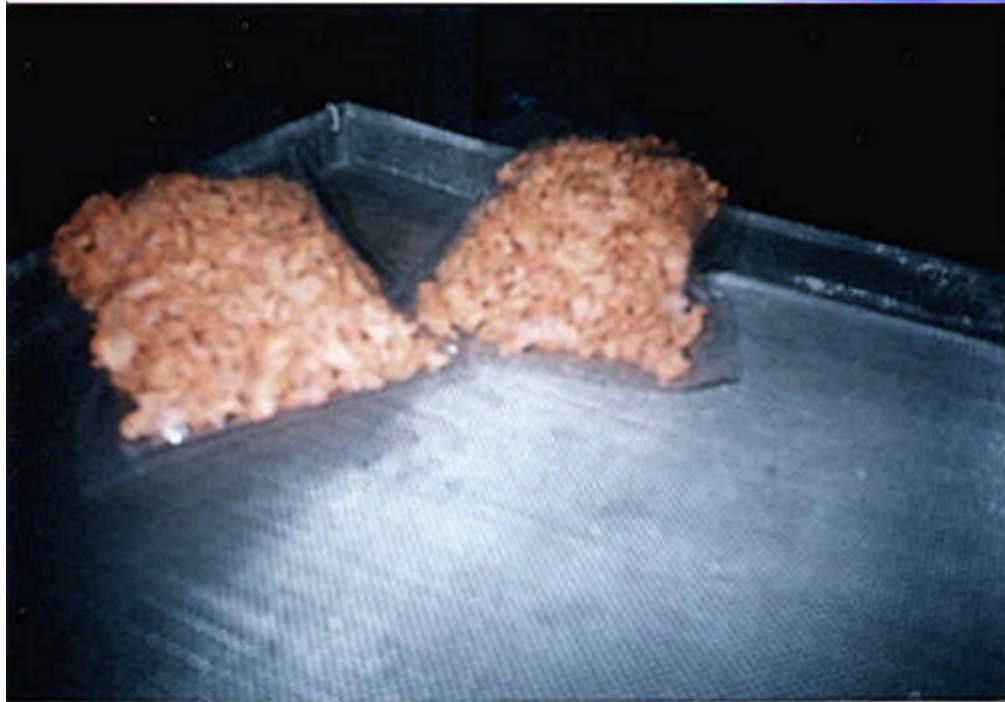
- Numero de capas: 4
- Espesor: 250 micras
- Resistencia mecánica: media
- Sellabilidad: sella con cualquier selladora convencional
- Color: transparente
- Impresión: Puede imprimirse hasta ocho colores

Fuente. Alico S.A.

⁶⁶ MORENO, Jorge., Op. cit., p. 59.

⁶⁷ BUREAO y MULTON., Op. Cit., p. 71.

Figura 10. Producto final empacado



Cuadro 19. Características de barrera del empaque BOPP / LDPE

BARRERA	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA
Oxígeno (O ₂)		X		
Gas carbónico (CO ₂)		X		
Nitrógeno (N ₂)		X		
Vapor de agua	X			
Aromas y sabores		X		
Grasas		X		
Luz				

Fuente. Alico S.A.

9.4.4 Segundo empaque (caja de cartón duplex) Como se observa en el cuadro 19, el empaque BOPP / LDPE, por ser transparente, no protege al producto de los efectos de la luz. Por lo tanto se empleará un segundo empaque que consiste en una caja de cartón.

Se utilizarán cajas de cartón duplex fabricadas en pulpa de madera, la parte exterior tiene un recubrimiento de pulpa de color blanco para facilitar la impresión utilizando cualquier sistema. El gramaje del cartón es de 270 g/m² y su espesor de 0.43 mm.

Además de ser una barrera contra la luz, el cartón le da una conformación regular al producto haciéndolo más práctico para el almacenamiento y el transporte a granel. Antes de su utilización las cajas pueden almacenarse plegadas, ocupando así un espacio muy reducido.

9.5 ANÁLISIS DEL PRODUCTO EMPACADO

Para verificar la calidad del empaque como medio de protección se hicieron análisis de humedad, microbiológicos y sensoriales del producto osmodeshidratado de acuerdo al tratamiento más eficiente como agente deshidratante y como agente conservador de las propiedades nutritivas y organolépticas, que fue el tratamiento T4 (40°Brix - 50GL). El producto fue empacado y almacenado durante cuatro meses a condiciones ambientales de la Ciudad de Pasto.

9.5.1 Análisis microbiológico y periodo de vida útil. Según información de los fabricantes del empaque, para hortalizas deshidratadas con un contenido de humedad inferior al 30% se puede conseguir un periodo de vida útil de un año, siempre y cuando el producto sea empacado correctamente. En el cuadro 20 se puede observar el análisis microbiológico del producto final almacenado durante cuatro meses.

Cuadro 20. Análisis microbiológico del producto empacado

Recuento de mesófilos	200 UFC
NMP de coliformes totales	Negativo
NMP de coliformes fecales	Negativo
Recuento de esporas de clostridium	Negativo
Recuento de hongos y levaduras	60 UFC

FUENTE: Esta investigación.

9.5.2 Análisis de humedad. El análisis de humedad de las muestras se realizó por desecación en estufa hasta peso constante, como se indica en el numeral 6.1.4. La muestra analizada presentó un contenido de humedad del 20,93%, humedad similar a la inicial que fue del 20% (humedad muestra deshidratada) Este leve incremento ocurrido durante los cuatro meses de almacenamiento, indica que el material del empaque seleccionado, si representa una barrera efectiva contra el paso de vapor de agua, desde la atmósfera, hacia el producto empacado.

9.5.3 Análisis organoléptico. Antes de la realización del análisis sensorial, las muestras se rehidrataron con el fin de obtener un producto similar al producto fresco. La rehidratación de las muestras se llevó a cabo en agua líquida, hasta un contenido de humedad del 80%.

Se evaluaron las siguientes propiedades sensoriales: color, sabor, olor y textura, tomando como referencia dos muestras testigo: una muestra fresca y una muestra deshidratada sin periodo de almacenamiento.

El color de la muestra no presentó modificaciones en comparación con la muestra deshidratada sin periodo de almacenamiento. De acuerdo a la escala de intervalo (anexo F) el color de la muestra corresponde al color de la casilla 17 (la casilla 18 representa el color de la muestra fresca) lo cual indica que no hay cambios respecto a las muestras analizadas en el capítulo 7 (muestras deshidratadas sin periodo de almacenamiento).

En cuanto a la textura, se observó en las muestras analizadas un ligero ondulamiento de las rodajas de zanahoria debido, posiblemente, a la imposibilidad de rehidratarlas hasta su contenido original de agua (90.97%) La consistencia y la masticabilidad no sufrieron alteraciones comparadas con las dos muestras testigo.

El sabor y olor de las muestras evaluadas presentan una ligera diferencia con la muestra testigo fresca, pero no con la muestra testigo deshidratada. Hay una pérdida mínima de sabor y olor ocasionadas por el proceso de deshidratación (como se observó en el capítulo 7) y no debidas al periodo de almacenamiento.

10. REHIDRATACION

La rehidratación es un proceso complejo que va dirigido a restaurar el contenido de humedad de un producto seco al poner en contacto con agua su estructura. El tipo de operación y las condiciones de proceso empleados durante la eliminación de agua influyen de manera determinante en la velocidad y el nivel de rehidratación. La naturaleza estructural del alimento también es un factor importante en la rehidratación de los productos desecados, la operación es más eficiente a medida que aumenta la porosidad del alimento⁶⁸.

Según Brennan, la rehidratabilidad de las hortalizas que han sido desecadas en trozos, como se hizo con la zanahoria en esta investigación, depende en gran parte de la estructura de los trozos desecados y del grado en que los componentes que retienen el agua, principalmente proteínas y carbohidratos, han sido afectados por la operación de desecación.

Por otra parte, la velocidad con que se reconstituyen las hortalizas desecadas, puede depender de la velocidad de remoción de agua durante la deshidratación⁶⁹.

La rehidratación del producto se puede lograr por dos métodos: poniendo en contacto el producto con una atmósfera saturada de vapor de agua o poniendo en contacto el producto con agua en estado líquido. Para Estiaghi, el proceso de rehidratación en sólidos es más eficiente cuando se utiliza agua líquida, ya que se ejerce un nivel más elevado de presión sobre el producto.

⁶⁸ MENDOZA, R et al. Isotermas de Sorción y Velocidad de Rehidratación en Vegetales Deshidratados con Diferentes Métodos [online]. Buenos Aires, Argentina: Mendoza, 2000 [consultado 12 de febrero de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http:// www. msu. Edu/ aurasraf/ isotermas. Pdf](http://www.msu.edu/aurasraf/isotermas.Pdf)>.

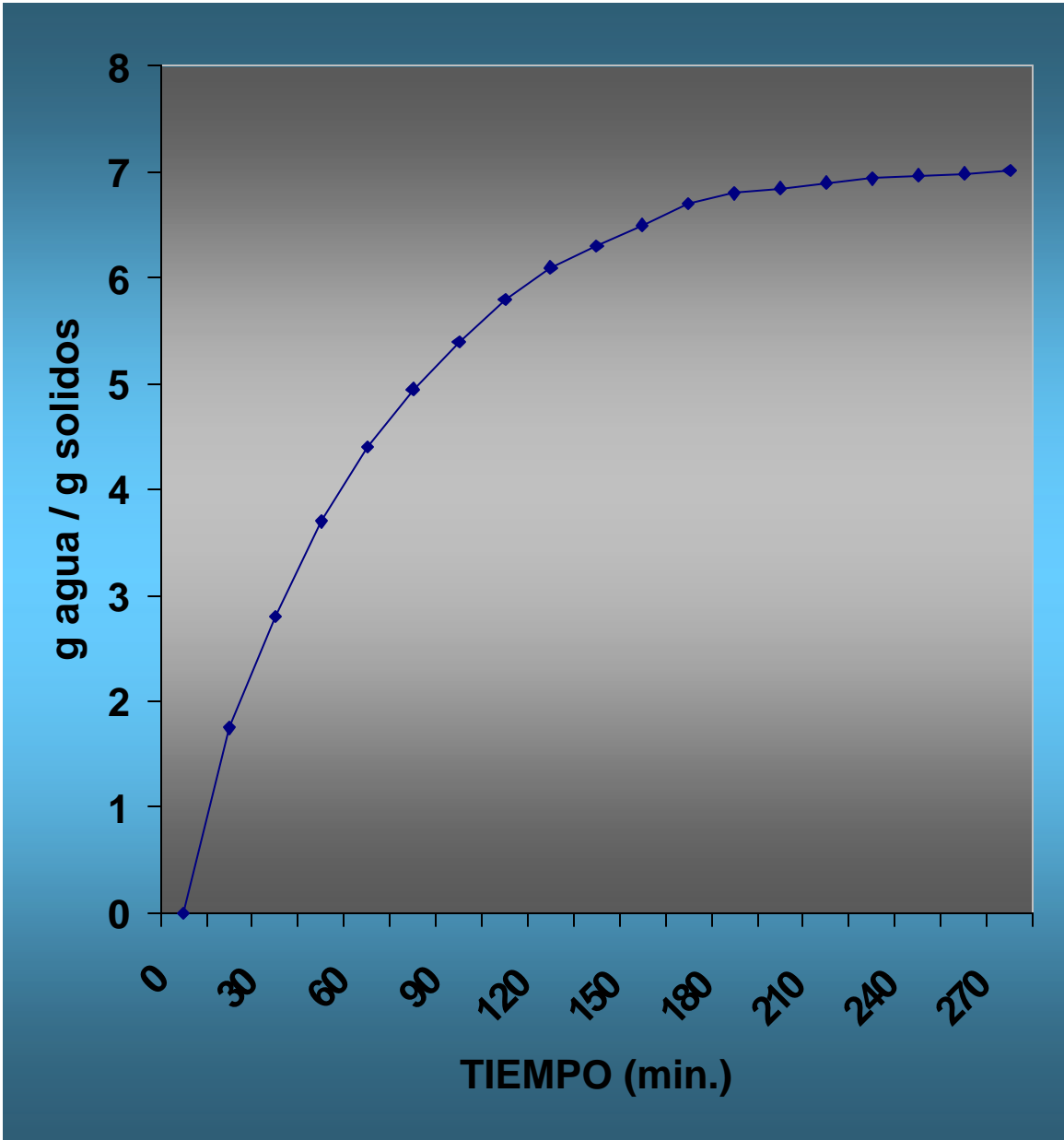
⁶⁹ BRENNAN et al. Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1980. p. 361.

En general los vegetales desecados, siguen los patrones de rehidratación encontrados por Mendoza et al.⁷⁰. La operación presenta una curva de rehidratación ascendente hasta el periodo comprendido entre los 140 y 160 minutos (figura 11), a partir de este momento el nivel de rehidratación disminuye considerablemente, siendo preciso someter el producto durante largos periodos de tiempo para incorporar en el una cantidad de agua apreciable.

En consecuencia, la rehidratación de las muestras se efectuó en agua líquida a temperatura ambiente, durante un tiempo de inmersión de 150 minutos. Las muestras rehidratadas alcanzaron un contenido de agua alrededor del 80%, de acuerdo al análisis de humedad efectuado. (La muestra fresca contenía 90,97% de humedad.).

⁷⁰. MENDOZA, R et al., Op. Cit.

Figura 11. Curva de rehidratación en vegetales osmodeshidratados, con secado convectivo adicional.



Fuente. MENDOZA, R. Isotermas de Sorción y Velocidad de Rehidratación en Vegetales Deshidratados con Diferentes Métodos. 2000

11. CONCLUSIONES

Se observa en las curvas de deshidratación osmótica, que a los 15 días de operación, se reduce considerablemente la velocidad de deshidratación en todos los tratamientos, debido a que los potenciales químicos del agua en el producto y del agua en la solución tienden a equilibrarse. A pesar de que a partir de ese momento la deshidratación continua, esta ocurre a una velocidad muy lenta, resultando poco eficiente. En este punto es conveniente suspender la operación, ya que, a partir de este momento, sería preciso someter el producto por mucho tiempo a la solución osmótica, para eliminar una cantidad de agua apreciable.

En relación con la hipótesis general, esta no se cumple totalmente. Se conservan muy bien el color y el contenido de vitamina A en el producto deshidratado y la eficiencia de deshidratación es alta en casi todos los tratamientos; sin embargo, el sabor, el olor y la textura resultan afectados en cierta medida; igualmente, hay una gran pérdida de minerales en todos los tratamientos.

Las muestras estudiadas de acuerdo a los seis tratamientos propuestos presentaron pérdidas mínimas de vitamina A. Esta propiedad fue la que mejor se conservó en el proceso de deshidratación osmótica, independiente de la utilización de soluciones de sacarosa y alcohol etílico individualmente o como soluciones combinadas.

La conservación de la vitamina A durante el proceso de deshidratación osmótica se explica debido a que esta vitamina no puede volatilizarse dentro de un líquido como lo haría al contacto con el aire, y además, por ser una vitamina liposoluble, no puede diluirse fácilmente al contacto con la solución osmótica.

El tratamiento más eficiente en la deshidratación osmótica de zanahoria, en el sentido de conservar las propiedades nutritivas y organolépticas, resultando a la vez eficiente como solución osmótica deshidratante, es el tratamiento T4 (combinación 40°Bx - 50°GL). En general se estableció que las soluciones con mayor concentración de sacarosa, favorecen la eficiencia de operación, debido a su elevado peso molecular, mientras que las soluciones con mayor concentración de alcohol etílico, conservan mejor las propiedades nutritivas y organolépticas.

El empaque seleccionado para el producto final (BOPP/LDPE) ofrece buena protección a la entrada de microorganismos y gases (vapor de agua, oxígeno, gas carbónico, nitrógeno, etc.) y a la salida de sustancias aromáticas responsables de las características organolépticas de la zanahoria.

La velocidad de deshidratación se produjo a razón de 3 gramos de agua por día tomando como base de cálculo una cantidad de 100 g de zanahoria.

12. RECOMENDACIONES

Evaluar la deshidratación osmótica de zanahoria, teniendo en cuenta nuevas variables como el suministro de calor, la implementación de sistemas de agitación, variación en la relación solución - alimento y variación en el área superficial del alimento

Para el caso concreto de la conservación de las propiedades organolépticas, se recomienda utilizar soluciones osmóticas con mayor concentración de alcohol y menor concentración de sacarosa.

Realizar un estudio de factibilidad para evaluar la viabilidad financiera, ambiental, económica y de mercado del producto final.

BIBLIOGRAFÍA

ACKERMAN, D. A Natural History of Senses. New York: Random House, 1990. 212 p.

ALICO S.A. Una Alternativa de Servicios para la Industria [online]. Bogota: Alico, 2002 [consultado 10 de febrero de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http://: www.alico.com.co/bopp.html](http://www.alico.com.co/bopp.html)>.

ANZALDÚA-MORALES, Antonio. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Zaragoza, España: Acribia, 1994. 191 p.

ASTM. Manual of Sensory Testing Methods. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa: ASTM STP, 1988. 434 p.

AYUSO, Luis Evaristo. Modulo de Fisicoquímica: Aplicación de la termodinámica a las soluciones. Bogota, Colombia: Unisur, 1996. 326 p.

BRENNAN, J. G. et al. Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1980. 423 p.

BUREAO, G. y MULTON, J. L. Embalaje de los alimentos de Gran Consumo. Zaragoza, España: Acribia, 1995. 452 p.

COLCIENCIAS. Anales del Seminario Avanzado de Tecnología de Alimentos. Santa fe de Bogota, Colombia: Guadalupe, 1983. 152 p.

DALLA ROSA, M; Pinnavia, G y LERICI, V.R. Industria Conserve. México: Guadalupe, 1982. 122 p.

DERRICK, M. y JELLIFFE, A. Las propiedades de los Alimentos. Londres: Random House, 1995. p. 123.

EARLY, R. L. Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1989. 205 p.

ETHIAGHI, M. N.; STUTE, R. and KNORR, D. High - Pressure and Freezing Pre-treatment Effects on Drying, Rehydration, Texture and Color of Green Beans, Carrots and potatoes. New York: McGraw Hill, 1994. 456 p.

FELLOWS, Peter. Tecnología del Procesamiento de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1996. 412 p.

FRAZIER, W. C. Microbiología de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1981. 233 p.

GARCIA-PELAYO, Fernando. Química y Ciencias Naturales. Paris, Francia Editorial Larousse, 1993. 156 p.

HART, L y FISHER, J. Análisis Moderno de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1981. 229 p.

HEISS, D. R. Principio de Envasado de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1977. 302 p.

INFOAGRO. Agroalimentación: Zanahoria, cultivo y manejo [online]. Bogotá: Infoagro, 2002 [consultado 2 de marzo de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http://: www. Infoagro. com.html](http://www.infoagro.com.html)>.

ISLAM, M. M y FLINK, J.M. Technol. New York: Random House, 1982. 378 p.

JAY, M. James. Microbiología Moderna de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1988. 271 p.

JERIFE, Eric. Análisis Nutricional de los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 1985. 298 p.

LARMOND, E. Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Foods. New York: Random House, 1977. 121 p.

LEES, R. Análisis de los Alimentos, Métodos de Control de Calidad. Zaragoza, España: Acribia, 1982. 254 p.

McCABE, L. Warren; SMITH, Julián y HARRIOT, Peter. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Madrid, España: McGraw Hill, 1991. 421 p.

MENDOZA, R et al. Isotermas de Sorción y Velocidad de Rehidratación en Vegetales Deshidratados con Diferentes Métodos [online]. Buenos Aires, Argentina: Mendoza, 2000 [consultado 12 de febrero de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http:// www. msu. Edu/ aurasraf/ isotermas. Pdf](http://www.msu.edu/aurasraf/isotermas.Pdf)>.

MORENO, Jorge. Materiales y Empaques. Bogotá, Colombia: Universidad Estatal Abierta y a Distancia, UNISUR, 1989. 198 p.

MUÑOZ, W y HURTADO, J. Evaluación de las Perdidas en el Manejo Cosecha y Poscosecha de la Zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Departamento de Nariño. Pasto, 1994, 156 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo) Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Ingeniería Agronómica.

PEREZ, Antonio. La Zanahoria. Bogota: UNISUR, 2000. 122 p.

POINTING, J. D. et al. Osmotic Deshidratation of Fruits. Philadelphia: Food Technol, 1986. 128 p.

SCHUARTZ, Marco y SEPULVEDA, Marcela. Conservación de Frutas y Hortalizas por Métodos Combinados. Santiago de Chile: McGraw Hill, 1999. 256 p.

SECRETARIA DE AGRICULTURA DEPARTAMENTAL DE NARIÑO. Consolidado Agropecuario y Pesquero. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño, 2002. 89 p.

SNEDECOR, G. W. Statical Methods. Iowa: state College Press, 1986. 121 p.

SUSKIND, P. Perfume. New York: Pocket books, 1987. 146 p.

TIRILLY, M y BURGEOIS, A. Producción de zanahoria. México: Editores, 2002. 47 p.

WALPOLE, Ronald y MYERS, Raymond. Probabilidad y Estadística. México: McGraw Hill, 1997. 458 p.

YAHIA, Elhadi M e HIGUERA CIAPARA, Inocencio. Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas. México D. F: editores, 1992. 271 p.

ZAPATA MONTOYA, José y CASTRO QUINTERO, Gilberto. Cinética de la Deshidratación Osmótica de Piña con Alcohol Etilico [online]. Santa fe de Bogota, Colombia: Montoya, 2000 [consultado 20 de abril de 2003]. Disponible en internet: <URL: [http://: www.jaibanauda.edu.co.html](http://www.jaibanauda.edu.co.html)>.

ANEXOS

ANEXO A

RESULTADOS INICIALES DEL ANALISIS DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS

Replica 1

TRATAMIENTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
TS	60.67	51.08	48.89	47.56
T1	72.94	62.10	59.35	58.13
T2	73.11	63.91	60.72	59.44
T3	78.68	70.11	68.27	66.71
T4	72.92	63.64	61.05	59.78
TA	79.54	71.88	67.90	66.83

Replica 2

TRATAMIENTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
TS	60.30	50.25	48.10	47.15
T1	70.54	61.03	59.03	57.94
T2	73.00	63.90	60.85	59.50
T3	75.05	68.88	67.91	66.40
T4	69.95	61.63	60.11	59.03
TA	78.17	70.68	68.42	67.00

Replica 3

TRATAMIENTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
TS	60.15	48.17	47.30	46.96
T1	70.89	59.21	58.37	58.04
T2	72.55	60.25	58.97	58.23
T3	76.13	66.70	65.03	64.83
T4	69.50	60.03	59.10	58.53
TA	79.00	69.10	68.15	67.91

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

COMPARACIÓN ENTRE LOS PROMEDIOS DE TRES O MAS MUESTRAS INDEPENDIENTES (Prueba de Kruskal Wallis)

Es una técnica equivalente al Análisis de Varianza. Consiste en dar un numero de orden a cada una de las observaciones y calcular el valor de

H el cual puede interpretarse con la siguiente tabla (para un 95% de probabilidad):

GRADOS DE LIBERTAD	VALOR
1	3,8
2	6
3	7,8
4	9,5
5	11,1
6	12,6
7	14,1
8	15,5
9	16,9
10	18,3
15	25
20	31,5

OBSERVACIONES

TS		T1		T2		T3		T4		TA	
observ	orden	observ	orden	observ	orden	observ	orden	observ	orden	observ	orden
46.96	1	57.94	2	58.23	3	64.83	5	58.53	4	66.83	6
47.15	7	58.04	8	58.97	9	65.03	11	59.03	10	67	12
47.3	13	58.13	14	59.44	16	66.4	17	59.1	15	67.9	18
47.56	19	58.37	20	59.5	21	66.7	23	59.78	22	67.91	24
48.1	25	59.03	26	60.25	28	66.71	29	60.03	27	68.15	30
48.17	31	59.21	32	60.72	34	67.91	35	60.11	33	68.42	36
48.89	37	59.35	38	60.85	39	68.27	41	61.05	40	69.1	42
50.25	43	61.03	44	63.9	46	68.88	47	61.63	45	70.68	48
51.08	49	62.1	50	63.91	52	70.11	53	63.64	51	71.88	54
60.15	55	70.54	57	72.55	58	75.05	59	69.5	56	78.17	60
60.3	61	70.89	63	73	64	76.13	65	69.95	62	79	66
60.67	67	72.94	69	73.11	70	78.68	71	72.92	68	79.54	72
Σ											
616.5	408	747.5	423	764.4	440	834.7	456	755.2	433	854.5	468
μ_i											
12		12		12		12		12		12	
\bar{X}											
51.38		62.29		63.70		69.55		62.93		71.21	

CALCULO E INTERPRETACION

1. A cada observación se le da un número de orden de uno en adelante empezando por la menor y terminando en la mayor. Cuando hay varias observaciones iguales a cada una se le dará el promedio del número que le corresponde, el próximo valor sigue el orden de contar cada una en forma normal.

2. Para cada muestra se suman los números de orden acabados de calcular.

3. Se calcula el valor H mediante la fórmula:

$$H = \left[\frac{12}{N(N+1)} * \sum \frac{T_i^2}{\mu_i} \right] - 3(N+1)$$

En donde:

12 es una constante

N es el total de observaciones realizadas

μ_i es el número de lecturas hechas en cada muestra

T_i es la suma de los números de orden en cada una de las muestras

$$H = \left[\frac{12}{72(72+1)} \left[\frac{(408)^2}{12} + \frac{(423)^2}{12} + \frac{(440)^2}{12} + \frac{(456)^2}{12} + \frac{(433)^2}{12} + \frac{(468)^2}{12} \right] \right] - 3(72+1)$$

$$H = 0.45$$

4. Se busca si el valor de H es o no significativo, teniendo en cuenta que el número de grados de libertad es igual al número de grupos menos 1. Para este caso, teniendo en cuenta que el número de tratamientos son seis, los grados de libertad son:

$$6-1=5$$

Para que el valor H con 5 grados de libertad sea significativo cuando se desea un 95% de confianza, la tabla muestra que debe exceder a 11.1.

Como el valor calculado fue 0.45 el cual esta muy por debajo del valor de la tabla, concluimos que las diferencias en el porcentaje de humedad de los seis tratamientos muy posiblemente se deben al azar.

ANEXO B

CUESTIONARIO PARA PRUEBAS DE SELECCIÓN DE JUECES

NOMBRE _____

FECHA _____

Indique el orden de las muestras de mayor a menor intensidad

DULCE	_____	_____	_____	_____	_____
SALADO	_____	_____	_____	_____	_____
AGRIO	_____	_____	_____	_____	_____
AMARGO	_____	_____	_____	_____	_____

ANEXO C

CUESTIONARIO PARA LA EVALUACION DEL SABOR

NOMBRE: _____

FECHA: _____

Marque con una X la casilla a la cual corresponda el valor de la propiedad señalada, para cada una de las muestras.

MUESTRA	CALIFICACION								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TS									
T1									
T2									
T3									
T4									
TA									

5 = similar al estándar

4 - 6 = diferencia ligera con el estándar

3 - 7 = diferencia moderada con el estándar

2 - 8 = mucha diferencia con el estándar

1 - 9 = diferencia sumamente alta con el estándar

ANEXO D

CUESTIONARIO PARA LA EVALUACION DEL OLOR

NOMBRE: _____

FECHA: _____

Marque con una X la casilla a la cual corresponda el valor de la propiedad señalada, para cada una de las muestras.

MUESTRA	CALIFICACION								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TS									
T1									
T2									
T3									
T4									
TA									

5 = similar al estándar

4 - 6 = diferencia ligera con el estándar

3 - 7 = diferencia moderada con el estándar

2 - 8 = mucha diferencia con el estándar

1 - 9 = diferencia sumamente alta con el estándar

ANEXO E

CUESTIONARIO PARA LA EVALUACION DE LA TEXTURA

NOMBRE: _____

FECHA: _____

Marque con una X la casilla a la cual corresponda el valor de la propiedad señalada, para cada una de las muestras.

MUESTRA	CALIFICACION								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TS									
T1									
T2									
T3									
T4									
TA									

5 = similar al estándar

4 - 6 = diferencia ligera con el estándar

3 - 7 = diferencia moderada con el estándar

2 - 8 = mucha diferencia con el estándar

1 - 9 = diferencia sumamente alta con el estándar

ANEXO F

ESCALA DE INTERVALO PARA LA EVALUACION DEL COLOR

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32

ANEXO G

CUESTIONARIO PARA LA EVALUACION DEL COLOR

NOMBRE: _____

FECHA: _____

Indique el número de la casilla con la cual corresponda el color de las muestras, de acuerdo a la escala de intervalo para la medición del color.

TS _____

T1 _____

T2 _____

T3 _____

T4 _____

TA _____

La casilla 18 de la escala de color representa el color de la muestra estándar.

ANEXO H

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE ZANAHORIA

