



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA
CHINA (*Pisum sativum L.*) MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS,
DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA
AL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DEL PAÍS.**

Rubén Adolfo Sierra García

Asesorado por la Ingeniera Química Hilda Palma de Martini
Co-asesorado por el Ingeniero Químico Cesar Alfonso García Guerra

Guatemala, abril de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA
CHINA (*Pisum sativum L.*) MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS,
DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA
AL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DEL PAÍS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

RUBÉN ADOLFO SIERRA GARCÍA

ASESORADO POR LA INGENIERA QUÍMICA HILDA PALMA DE MARTINI
CO-ASESORADO POR EL INGENIERO QUÍMICO CESAR ALFONSO GARCÍA

GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Davila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

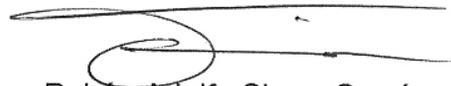
DECANO	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Ing. Teresa Lisely de León Arana
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA CHINA (*Pisum sativum L.*) MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS, DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA AL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DEL PAÍS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 26 de enero de 2009



Rubén Adolfo Sierra García

Guatemala, 17 de Noviembre de 2009.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director
Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Álvarez:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el Informe Final del Trabajo de Graduación titulado: **“ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA CHINA (*Pisum sativum* L.) MEDIANTE DOS MÉTODOLÓGÍAS, DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA AL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DEL PAÍS”**. Elaborado por el estudiante de Ingeniería Química Rubén Adolfo Sierra García con número de carné 200113229. Considero que el Informe Final de Trabajo de Graduación desarrollado por el estudiante Sierra García, satisface los requisitos exigidos; por lo que solicito se sirva remitirlo para su respectiva revisión.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,



MSc. Inga. Hilda Palma de Martini
Colegiada # 453
ASESORA
CATEDRÁTICA
Tecnología de los Alimentos



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 02 de marzo de 2010
Ref. EIQ.TG.009.2010

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-13-10-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **RUBÉN ADOLFO SIERRA GARCÍA**, identificado con carné No. **2001-13229**, titulado: **"ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA CHINA (*Pisum sativum L.*) MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS, DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA AL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DEL PAÍS"** el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Hilda Palma de Martini, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Sierra García** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"


Inga. **Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.**
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Ref.EIQ.TG.031.2010

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del (la) estudiante **RUBÉN ADOLFO SIERRA GARCÍA** titulado: **"ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA CHINA (*Pisum sativum* L.) MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS, DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA AL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DEL PAÍS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; MIQ; MPI
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril de 2010

Cc: Archivo
WGAM/am

71^{er} FORMANDO INGENIEROS QUÍMICOS EN GUATEMALA

PROGRAMA DE INGENIERÍA
QUÍMICA ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA ARVEJA CHINA (*Pisum sativum* L.) MEDIANTE DOS METODOLOGÍAS, DIRECTA E INDIRECTA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA AL SECTOR HORTOFRUTÍCULA DEL PAIS**, presentado por el estudiante universitario **Rubén Adolfo Sierra García**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Glenda Patricia García Soria
DECANA EN FUNCIONES

Guatemala, abril de 2010



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS:

Por su amor y sus bendiciones brindadas en este tiempo que tengo de vida.

MIS PADRES:

Por su amor, apoyo, sostén, entendimiento y colaboración en estos años de estudio y culminación de mi carrera.

MIS HERMANOS:

Por su compañía, amistad y juegos que hemos compartido en estos años que llevamos juntos.

MIS AMIGOS Y AMIGAS:

Por su amistad en todos estos años que tengo de conocerlos, por todos los momentos que hemos vivido y compartido.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios:

Por darme estos años de vida y permitirme gozar con las personas que ha puesto en mi camino.

La Universidad de San Carlos de Guatemala:

Por ser mi Alma Máter, y brindarme todo el conocimiento necesario para desenvolverme como profesional y crecer como persona.

Inga. Hilda Palma de Martini, Ing. César García

Por su colaboración y asesoramiento en este trabajo de investigación.

Mis padres y hermanos

Por su apoyo y estímulo en los momentos alegres y tristes, por enseñarme a perseverar y siempre aspirar a más. ¡¡¡Este logro es nuestro!!!

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XIX
OBJETIVOS	XXI
HIPÓTESIS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Orígenes.....	5
2.2 Deshidratación.....	5
2.2.1 Deshidratación natural.....	7
2.2.2 Deshidratación por congelamiento.....	7
2.2.3 Deshidratación por aire seco.....	8
2.3 Efecto de la deshidratación en los alimentos.....	8
2.3.1 Textura.....	8
2.3.2 Aroma.....	9
2.3.3 Color.....	10
2.3.4 Valor nutritivo.....	10
2.4 Deshidratación Osmótica.....	11
2.4.1 Principios y fundamentos.....	15
2.4.2 Fenómenos de membranas.....	15

2.4.2.1	Difusión.....	15
2.4.2.2	Ósmosis.....	16
2.4.2.3	Ósmosis inversa.....	17
2.4.3	Modelos de deshidratación Osmótica.....	18
2.4.4	Ventajas y desventajas de la deshidratación Osmótica.....	18
2.4.4.1	Ventajas.....	18
2.4.4.2	Desventajas.....	19
2.4.5	Daños comunes de la deshidratación Osmótica	20
2.4.6	Agente Osmótico.....	21
2.4.6.1	Ventajas y usos.....	22
2.4.7	Aplicación industrial de la deshidratación Osmótica.....	22
2.5	Arveja china.....	23
2.5.1	Generalidades.....	23
2.5.1.1	Composición química de la arveja china.....	24
2.5.2	Fenología del cultivo.....	25
2.5.2.1	Etapas de germinación-emergencia.....	26
2.5.2.2	Etapas de desarrollo vegetativo.....	26
2.5.2.3	Inicio de la floración y cosecha.....	26
2.5.3	Características de la planta.....	27
2.5.3.1	Condiciones agroecológicas.....	28
2.5.3.2	Producción de la arveja china.....	29
2.5.3.2.1	La cosecha y requisitos de calidad.....	29
2.5.3.2.2	Post-cosecha.....	30
2.5.3.2.3	Producción.....	30
2.5.4	Zonas de producción en Guatemala.....	31
2.5.5	Exportación de arveja china (<i>Pisum sativum L.</i>).....	32
2.5.6	Consumo de arveja china en Guatemala.....	32
2.6	Secado.....	34
2.6.1	Factores que intervienen en el proceso de secado.....	34

2.6.1.1	Temperatura del aire.....	34
2.6.1.2	Humedad relativa del aire.....	35
2.6.1.3	Velocidad del aire.....	36
2.6.2	Factores indeseados del secado.....	37
2.6.2.1	Movimiento de solutos.....	37
2.6.2.2	Retracción.....	37
2.6.2.3	Endurecimiento superficial.....	38
2.7	Análisis sensorial.....	38
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	43
3.1	Variables.....	43
3.2	Delimitación y campo de estudio.....	43
3.2.1	Planteamiento del problema.....	43
3.2.1.1	Alcance.....	44
3.2.1.2	Aporte.....	45
3.3	Recursos humanos disponibles.....	45
3.4	Recursos materiales disponibles.....	45
3.4.1	Recursos físicos.....	45
3.4.2	Materiales y equipo.....	46
3.4.2.1	Materia prima.....	46
3.4.2.2	Cristalería.....	46
3.4.2.3	Equipo.....	47
3.4.2.4	Reactivos.....	49
3.5	Técnica cualitativa y cuantitativa.....	49
3.6	Recolección y ordenamiento de la información.....	51
3.6.1	Etapa I del proceso.....	51
3.6.1.1	Análisis químico proximal completo.....	51
3.6.1.2	Selección del modelo.....	51
3.6.2	Etapa II del proceso.....	51

3.6.2.1 Condiciones de proceso.....	52
3.6.2.2 Selección de la muestra	52
3.6.2.3 Desgranado.....	52
3.6.2.4 Lavado y desinfectado.....	53
3.6.2.5 Escaldado.....	53
3.6.2.6 Pesado.....	53
3.6.2.7 Deshidratación Osmótica.....	53
3.6.2.7.1 Deshidratación Osmótica directa.....	53
3.6.2.7.1.1 Inmersión.....	53
3.6.2.7.1.2 Lavado y escurrido.....	54
3.6.2.7.2 Deshidratación Osmótica indirecta.....	54
3.6.3 Etapa III del proceso.....	55
3.6.3.1 Condiciones de proceso para el secado.....	55
3.6.3.1.1 Secado en bandejas con aire caliente....	55
3.6.3.2 Análisis sensorial y de calidad del producto.....	55
3.6.3.2.1 Análisis sensorial.....	56
3.6.3.2.2 Análisis microbiológico (calidad).....	56
3.7 Análisis estadístico.....	56
3.7.1 Diseño de tratamientos.....	56
3.7.2 Criterio de decisión.....	58
4. RESULTADOS.....	59
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	67
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	85
APÉNDICE.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Ósmosis y ósmosis inversa	17
2. Planta de arveja china (<i>Pisum sativum</i> L.)	25
3. a) Crecimiento, b) floración y c) vaina	27
4. Granos de la arveja china	46
5. Cristalería de laboratorio	46
6. Plancha de calentamiento	47
7. Termo-hidrómetro digital	47
8. Incubadora	47
9. Balanza analítica	48
10. Horno con circulación de aire	48
11. Desecadora de alimentos para atmósfera controlada	48
12. Desecadora de vidrio con sílica gel	49

13. Montaje del equipo para DO en atmósfera controlada	54
14. Pérdida de peso en el tiempo mediante DOD	59
15. Pérdida de peso en el tiempo mediante DOI	60
16. Pérdida de humedad en el tiempo mediante DOD	61
17. Pérdida de humedad en el tiempo mediante DOI	61
18. Representación en % de las respuestas obtenidas para la evaluación del color de la arveja china	63
19. Representación en % de las respuestas obtenidas para la evaluación del olor de la arveja china	63
20. Representación en % de las respuestas obtenidas para la evaluación del sabor de la arveja china	64
21. Representación en % de las respuestas obtenidas para la evaluación de la textura de la arveja china	64
22. Representación en % de las respuestas obtenidas para la evaluación de la aceptabilidad de la arveja china	65
23. Cantidad mínima de agua para el crecimiento de microorganismos	85
24. Pronóstico de producción de la arveja china en Guatemala	86

25. Superficie de cosecha de la arveja china en Guatemala	87
26. Número de fincas de producción de arveja china en Guatemala	88
27. Diagrama de causa y efecto de la arveja china	91
28. Flujograma del desarrollo de la investigación	92

TABLAS

I. Humedad promedio de frutas y hortalizas	6
II. Daños comunes en la deshidratación Osmótica	20
III. Ventajas de algunos agentes osmóticos	22
IV. Clasificación botánica de la arveja china	23
V. Composición química de la arveja china	24
VI. Valor nutricional en 100g de arveja comestible	33
VIII. Promedio para la pérdida de peso, mediante DOD y DOI para un tiempo de proceso de 3 horas	59
IX. Promedio para la pérdida de humedad, mediante DOD y DOI para un tiempo de proceso de 3 horas	60

X.	ANOVA para la pérdida de humedad de la arveja, utilizando NaCl al 20% mediante DOD	62
XI.	Evaluación sensorial de la arveja china deshidratada	62
XII.	Tabla de análisis sensorial	89
XIV.	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 10% DOD	95
XV.	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 20% DOD	96
XVI.	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ en concentración del 10% DOD	97
XVII.	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ en concentración del 20% DOD	98
XVIII	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 10% DOI	100
XIX.	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 20% DOI	101
XX.	Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ en concentración del 10% DOI	102

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Definición
a_w	Actividad del agua
CV_d	Coficiente de variación dentro de los grupos
CV_e	Coficiente de variación entre grupos
DOD	Deshidratación osmótica directa
DOI	Deshidratación osmótica indirecta
GL_e	Grados de libertad entre grupos
GL_d	Grados de libertad dentro de los grupos
g	Gramo
HL	Pérdida de humedad
H_o	Humedad inicial
H_f	Humedad final
mg	Miligramo
M_o	Peso inicial
M_f	Peso final
p/v	Relación peso-volumen
SC_d	Suma de cuadrados dentro de los grupos
SC_e	Suma de cuadrados entre los grupos
UFC	Unidades formadoras de colonias
WL	Pérdida de agua
WR	Pérdida de peso
%	Porcentaje

GLOSARIO

Actividad del agua (a_w)	Es la relación entre la presión de vapor ejercida por el alimento y la presión de vapor saturado de agua a la misma temperatura. Si hay menos actividad de agua, existe menos contaminación microbológica.
Agente Osmótico	Compuesto que por tener una concentración alta, favorece el proceso Osmótico. Es la sustancia utilizada para promover la fuerza impulsora osmótica; debe ser no tóxica y poseer sabor agradable.
AGEXPRONT	Asociación Gremial de Exportadores de Productos No Tradicionales
Análisis bromatológico	proviene del griego <i>brom-atos</i> que significa alimento y <i>logía</i> , estudio. Entonces la bromatología es una disciplina científica que estudia íntegramente los alimentos. Con éste se pretende hacer el análisis químico, físico, higiénico, hacer el cálculo de las dietas y ayudar a la conservación y el tratamiento de los alimentos.

Análisis sensorial	Herramienta básica para conocer la aceptación del producto por parte del mercado, sus puntos fuertes y débiles, el desarrollo de nuevos productos, modificación y mejora de productos actuales; la identificación de diferencias entre productos análogos; el control de calidad, etc. por medio de paneles entrenados o no entrenados dependiendo de los objetivos a cumplir.
Análisis de varianza	El análisis de varianza, o más brevemente ANDEVA, se refiere en general a un conjunto de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales.
Característica organoléptica	Característica o propiedad de un cuerpo que puede percibirse por los sentidos.
Deshidratación	Es el proceso mediante el cual se elimina agua del alimento alcanzando así una mayor protección microbiológica del mismo.
Deshidratación Osmótica	Se produce cuando un material está en contacto con una solución que permite el paso de algunas moléculas, pero no de otras por medio de una membrana semipermeable. Consiste en colocar los alimentos en una

solución hipertónica (presión osmótica mayor con respecto al material) provocando que exista una transferencia de masa como resultado de una diferencia de concentraciones, con un movimiento desde el lugar con alta concentración (solución) al lugar con baja concentración (el alimento) eliminando el agua de este último

FAO Por sus siglas en inglés (*Food and Agriculture Organization*), es la Organización de Agricultura y Alimentos.

FDA Por sus siglas en inglés (*Food and Drug Administration*), es la Administración de Alimentos y Medicamentos.

Humedad Relativa Se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura.

ICAITI Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.

INE Instituto Nacional de Estadística.

Membrana semipermeable	Membrana que al estar en contacto con una solución permite el paso de algunas moléculas pero no de otras.
Ósmosis	Movimiento neto de un solvente a través de una membrana semipermeable hacia la solución que tiene una mayor concentración del soluto.
Panel	Grupo de personas seleccionado para tratar en público un asunto.
ppm	Partes por millón. Una solución cuya concentración es de 1g de soluto por cada millón de gramos de solución.
Presión osmótica	Es una propiedad coligativa de una disolución igual a la presión que, aplicada a la disolución, detiene la ósmosis. Se denota con la letra griega π y se define matemáticamente como $\pi = MRT$, donde M es la concentración molar de soluto, R es la constante de los gases y T la temperatura absoluta. Presión requerida para evitar la ósmosis.
Prueba hedónica	Estudios de consumidores y grado de aceptación del producto. Define las preferencias del consumidor potencial.

Secado	Consiste en separar pequeñas partículas de agua de un material sólido para reducir el contenido de agua residual hasta un valor aceptablemente bajo. Si se trata de alimentos, se refiere a la remoción de agua del producto alimenticio; en la mayoría de los casos es acompañado por evaporación del agua que contiene el alimento.
Soluto	Sustancia disuelta en un disolvente para formar una solución; normalmente es el componente de una solución que se encuentra en menor cantidad.
Solvente	Es el componente, en una solución, que está en mayor cantidad.
UFC	Unidades formadoras de colonias microbiológicas.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha estudiado la deshidratación osmótica de la arveja china (*Pisum sativum L.*). El tiempo de proceso y la relación materia prima/solución se determinaron mediante pre-ensayos, siendo 3 horas y relación 1:1. Se definieron las condiciones óptimas de proceso como: método de Deshidratación Osmótica directa, agente osmótico NaCl, la concentración de la solución osmodeshidratante como 20% p/v para la aplicación a nivel laboratorio de la deshidratación de la arveja china (*Pisum sativum L.*).

El cloruro de sodio (NaCl) a una concentración de 20% en relación de peso-volumen en el proceso de deshidratación osmótica directa (DOD), obtuvo una remoción aproximada del 64.58% de humedad en el proceso osmótico, partiendo de una humedad inicial de 88% de acorde al análisis bromatológico y finalizando con 35.45%. Fue necesario utilizar un proceso complementario usando aire seco (22-25% humedad) por medio de un horno de bandejas, para alcanzar el nivel de humedad requerido inferior al 8% debido a que este es el límite máximo permitido por la EPA (*Environmental Protection Agency, USA, 1995*) para alimentos deshidratados.

Se realizó un análisis sensorial con un panel no entrenado para evaluar la aceptabilidad de la arveja deshidratada osmóticamente, obteniendo una preferencia total del 81% y una preferencia intermedia del 19%. Se realizaron análisis de recuento total de bacterias, de mohos y levaduras comprobándose la estabilidad del producto, en base a las especificaciones de la FDA.

ABSTRACT

This research has studied the osmotic dehydration of snow peas (*Pisum sativum L.*). The processing time and the ratio raw material/solution were determined by pre-testing, being 3 hours and a ratio 1:1. We defined the optimal process conditions such as osmotic dehydration method of direct, NaCl osmotic agent, concentration of the solution osmotic dehydration as 20% w / v for implementation at the laboratory of the dehydration of snow peas (*Pisum sativum L.*).

Sodium chloride (NaCl) at a concentration of 20% weight-volume relationship in the process of direct osmotic dehydration obtained a removal of approximately 64.58% of moisture in the osmotic process, from initial moisture 88% of chord bromatological analysis and ending with 35.45%. It was necessary to use a complementary process using dry air (22-25% humidity) through an oven tray to achieve the required moisture level less than 8% because this is the maximum allowed by the EPA (*Environmental Protection Agency, USA, 1995*) for dry foods.

Sensory analysis was performed with a trained panel to evaluate the acceptability of osmotically dehydrated peas, obtaining a total preference of 81% and 19% intermediate preference. Analysis was carried out total count of bacteria, mould and yeast test stability in the product, based on the specifications of the FDA.

OBJETIVOS

GENERAL:

Evaluar las condiciones óptimas de proceso; método de Deshidratación Osmótica (directa e indirecta), agente osmótico (NaCl y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), concentración de la solución osmodeshidratante (10% y 20% p/v) y el tiempo de proceso para la aplicación a nivel laboratorio de la deshidratación de la arveja china (*Pisum sativum L.*) que queda como remanente de las exportaciones.

ESPECÍFICOS:

1. Evaluar las condiciones óptimas de cada uno de los procesos para los métodos seleccionados a utilizar, los cuales son: deshidratación osmótica directa e indirecta.
2. Identificar el agente osmótico óptimo entre los propuestos que permita obtener la mayor remoción de humedad sin que se alteren las propiedades organolépticas de la arveja china.
3. Realizar un ensayo complementario utilizando secado convencional para llegar a las características de deshidratación óptimas comparando las muestras óptimas deshidratadas osmóticamente con muestras sin deshidratación osmótica.
4. Realizar una evaluación de la calidad sensorial y la estabilidad microbiológica de la arveja china deshidratada osmóticamente para estimar el grado de aceptación de los tratamientos.

HIPÓTESIS

Es factible obtener arveja china (*Pisum sativum L.*) deshidratada osmóticamente, mediante atmósfera controlada (deshidratación osmótica indirecta) así como por inmersión (deshidratación osmótica directa).

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Hipótesis Nula

No existe diferencia significativa en la remoción de agua y en la calidad sensorial de la arveja china (*Pisum sativum L.*), obtenida por deshidratación osmótica directa como indirecta.

$$\mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis Alternativa

Existe diferencia significativa en la remoción de agua y en la calidad sensorial de la arveja china (*Pisum sativum L.*), obtenida por deshidratación osmótica directa como indirecta.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

INTRODUCCIÓN

La Deshidratación Osmótica constituye una tecnología con amplias perspectivas de aplicación en el procesamiento de alimentos. Es una alternativa del hombre para aprovechar más y mejor los alimentos que se producen en épocas de cosecha conservándolos mediante la disminución del contenido de agua. Para esto, desde la antigüedad se ha empleado el secado al sol y en algunos casos se ha complementado con la impregnación de sal.

Hoy, la investigación tecnológica busca la aplicación de otras técnicas más eficientes de deshidratación, bajo condiciones controladas para producir mayores volúmenes de mejor calidad. Desafortunadamente durante la deshidratación de las frutas y verduras ocurren cambios más o menos intensos que disminuyen en calidad y cantidad el contenido de nutrientes básicos para la dieta humana y cambian las características sensoriales de los productos.

En la actualidad existe una amplia tendencia mundial por la investigación y desarrollo de técnicas de conservación de alimentos que permitan obtener productos de alta calidad nutricional, que sean muy similares en color, aroma y sabor a los alimentos frescos y que no contengan agentes químicos conservantes.

La Deshidratación Osmótica permite obtener productos que reúnen las características arriba mencionadas y además los costos de producción son más bajos, si se compara con las técnicas que emplean calor o frío para los diferentes procesos de deshidratación. Es un método que, reduciendo hasta un

80% del agua original de los alimentos, permite obtener productos de humedad intermedia, con una buena calidad organoléptica.

La solución osmótica que se utiliza para deshidratar el producto debe ser rica en solutos que depriman la actividad del agua del mismo, y que genere una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la solución.

De los métodos de conservación, la Deshidratación Osmótica es más barato que la deshidratación tradicional, pues requiere de menor energía. Un producto deshidratado tiene menor humedad y por eso el volumen del mismo es reducido; también aumenta la cantidad de producto que puede transportarse para su exportación sin perder sus propiedades organolépticas y asegurando una buena calidad.

Los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas, son de bajo costo, tales como sacarosa, glucosa, fructosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de estos. Generalmente, las soluciones de sacarosa son usadas para frutas y las soluciones de cloruro de sodio para vegetales.

El presente estudio se basa en la Deshidratación Osmótica de la arveja china (*Pisum sativum L.*), para obtener arveja con un contenido inferior al 8% de humedad para su posterior comercialización a nivel nacional e internacional.

1. ANTECEDENTES

ROJAS, L (USAC, 1976), en su tesis *Deshidratación osmótica de frutas tropicales, complementado con horno de aire forzado y horno al vacío* experimentó con el proceso osmótico utilizando un jarabe con 65 °Brix, rodajando la fruta en capas delgadas y agitando el jarabe con un agitador mecánico. Midió la humedad cada media hora durante todo el proceso con tres temperaturas, 22°C, 40°C y 60°C. Finalmente determinó que esta última es la óptima para la deshidratación de banano, piña y papaya. La fruta la secó con horno al vacío a 55°C y 23mm de mercurio. Para la papaya, el banano y la piña obtuvo mejores resultados a nivel organoléptico que el realizado con mango.

PINTO, C. (UVG, 1994) en su tesis *Producción, caracterización y utilización de zapote deshidratado por ósmosis y aire caliente* utilizó soluciones de azúcar, panela y miel para la deshidratación de zapote. Se sometió al proceso osmótico durante cuatro horas reduciendo el contenido de la fruta en un 25-30%. De los tres endulzantes comprobó que no existe diferencia significativa en la deshidratación osmótica utilizando miel y azúcar y al utilizar panela gustó poco. Al comparar los resultados de la deshidratación osmótica con la deshidratación por medio de aire caliente, ésta última fue la menos apreciada.

ROLTZ, J. (URL, 1997) en su tesis *Empleo de un diseño experimental para optimizar el secado de banano por ósmosis* utilizó azúcares invertidos para realizar el proceso (78-80 °Brix) colocando el banano rodajado en la solución osmótica con temperatura controlada. Se lavó con agua fría y se colocó en papel de aluminio en un horno de bandejas por 19 horas, con esto se obtuvo un

producto con buenas condiciones organolépticas. También realizó un diseño factorial en la experimentación concluyendo que los valores más convenientes de concentración y temperatura del jarabe son 55 °Brix y 55 °C.

LEMUS, J (UVG, 1999) en su tesis *Perfil de una planta deshidratadora de mango* concluye que la instalación de una planta deshidratadora de mango en Guatemala es factible desde el punto de vista financiero, pues proyecta una tasa interna de retorno (TIR) a diez años plazo de 90.93%, un punto de equilibrio del 29% de la capacidad instalada en planta y una recuperación de la inversión en 3.36 años. Se ubica la planta en Siquinalá Escuintla, por la facilidad de transporte y almacenamiento de materia prima.

En países Latinoamericanos como Colombia, Venezuela, Ecuador, Chile, Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, México, Nicaragua, Puerto Rico y Uruguay, por medio del programa de CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) de Latinoamérica, han investigado sobre la posibilidad de desarrollar alternativas de aprovechamiento y preservación de ciertos alimentos, en especial de frutas tropicales; con tecnologías relativamente sencillas y con bajos montos de inversión. La deshidratación osmótica (DO) ha cobrado gran interés debido a que aplicada como un pre-tratamiento en los procesos tradicionales de conservación, mejora la calidad organoléptica del producto final con un bajo consumo de energía. Como revisión de antecedentes se encuentran los siguientes trabajos:

MOYANO, P. y ZÚÑIGA, R. (Universidad de Santiago de Chile) en la tesis *Predicción de la concentración de soluto durante el proceso de osmodeshidratación* lograron, por medio de modelos de difusión, predecir los °Brix en un proceso de deshidratación osmótica, en donde se estudió manzana. Analizaron la pérdida de agua y la ganancia de soluto, con soluciones de

sacarosa a distintos Brix (40, 45, 50, 55 y 60°). Se mantuvo a una agitación constante de 30 RPM a 25°C por 180 minutos y con una relación fruta / jarabe de 1/10. Se midió la pérdida de peso humedad y Brix de las muestras a distintos tiempos. La predicción de los Brix al terminar el proceso presentó un porcentaje de variación promedio de 8.1% para la fruta y de 2.9% para el jarabe.

RÍOS, M. MÁRQUEZ, C. Y CIRO, V. (Universidad Nacional de Colombia) en el proyecto; *Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (Carica papaya L.) en cuatro agentes edulcorante*, lograron someter trozos de papaya hawaiana (*Carica papaya L.*) usando cuatro agentes edulcorantes: miel de abejas, miel de caña, crema de miel de abejas y sacarosa en medio acuoso a 79 °Brix, temperatura de 20 °C y 23 horas de inmersión. Los resultados estadísticos mostraron que el agente de mayor capacidad deshidratante fue la miel de abejas y el menor la sacarosa. Además, los análisis cinéticos indicaron que la máxima transferencia de masa ocurre en las primeras cuatro horas del proceso y la máxima pérdida de masa del producto que puede ser alcanzada fue de 32 % con un contenido de humedad final en los frutos de papaya osmodeshidratada de 41,3 % base húmeda.

CASTILLO, M. Y CORNEJO, F. (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil Ecuador) en el proyecto; *Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola (Averrhoa carambola L.)*, establecieron la cinética de deshidratación osmótica a concentraciones de sacarosa (40°Brix, 50°Brix y 60°Brix) y a presión atmosférica. Demostrándose que a 50°Brix se obtiene el menor coeficiente de difusión de sólidos y una considerable pérdida de agua. Además, se observó un aumento de la monocapa de BET indicando una mayor estabilidad y una mejor calidad sensorial que el alimento con el secado convencional.

ZAPATA, M. CARVAJAL, L. Y OSPINA, N. (Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia) en el proyecto; *Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas*, optimizaron la relación jarabe/fruta y la concentración de una mezcla de sacarosa y cloruro de calcio (CaCl_2) para la deshidratación osmótica de láminas de papaya hawaiana (*Carica papaya*), tratando de maximizar la pérdida de peso (%PP), la pérdida de humedad (%PH) y la disminución en la actividad acuosa (%Aw). Se utilizó un diseño estadístico de superficies de respuesta para determinar los niveles óptimos de sacarosa, CaCl_2 y relación fruta/jarabe. Los resultados mostraron que se puede maximizar los tres parámetros si se utiliza un jarabe con una concentración de sacarosa de 57%, CaCl_2 de 0,55g/100ml y una relación jarabe/fruta de 5. Los valores máximos obtenidos fueron PP de 48,29%; PH de 48,2% y Aw de 6,6%.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Orígenes

Deshidratar es un sistema de conservación de alimentos que se remonta al Neolítico, época en que el hombre deja la vida nómada (caza y recolección de lo que encuentra a su paso) formando comunidades, siendo la agricultura una de sus principales actividades. Todas las civilizaciones han desarrollado en menor o mayor medida formas de conservar los alimentos de acuerdo a sus necesidades. El más utilizado por todas ellas es la deshidratación/secado de los alimentos, otros métodos como; salados, salmueras, encurtidos, pasteurización, conservantes, y más recientemente, hace tan sólo algunos años la radiación con sus técnicas que desnaturalizan y eliminan la mayoría de los nutrientes de los alimentos.

2.2 Deshidratación

Es el proceso más utilizado para la conservación de alimentos. Este proceso se ha sido utilizado desde la prehistoria porque otorga una mayor vida en los productos. El desarrollo de la industria de deshidratación se había asociado únicamente con la alimentación de soldados en la guerra; sin embargo este enfoque ha ido cambiando poco a poco hasta llegar a un consumidor estándar. Durante el proceso de deshidratación se elimina agua del alimento y se alcanza una mayor protección microbiológica, así como el retraso de muchas reacciones indeseables. Puede disminuir costos de empaque, de manejo y almacenaje, porque disminuye el peso del alimento y su volumen.

Aunque los términos secado y deshidratación pueden ser usados como sinónimos, no lo son. Un vegetal o una fruta se consideran deshidratados cuando el contenido de humedad es reducido a un nivel tal que no puede existir crecimiento microbiano (debajo de 8%). Una fruta o vegetal seco se define como un alimento que contiene humedad por debajo del 30%. Este grado es alcanzado, muchas veces, con secado por medio de aire forzado que elimina el agua de la superficie del producto; sin embargo, puede afectar características físicas y químicas como la destrucción de nutrientes y enzimas. Los cambios físicos más comunes son el encogimiento y endurecimiento, y los cambios químicos están ligados a la textura, el sabor, la viscosidad, el valor nutritivo y estabilidad en su almacenaje. Estos cambios dependen del tipo de producto, la composición y el método utilizado para la deshidratación. Además, pueden existir reacciones que provoquen oscurecimiento en el producto a deshidratar debido a reacciones enzimáticas no deseadas u oxidación.

Tabla I. Humedad promedio de frutas y hortalizas en estado fresco y deshidratado

	Fresco	Deshidratado*
Albaricoque	86%	13%
Cebolla	86%	4%
Ciruela	85%	17%
Col	93%	5%
Durazno	86%	17%
Ejote	89%	6%
Manzana	84%	3%
Papa	79%	6%
Uva	81%	13%
*datos referenciales de acuerdo al método usado.		

Fuente: Glass, P. Elaboración de frutas y hortalizas, 1987.

Es importante seleccionar el método de deshidratación que sea más apropiado para cada clase de alimento. Los métodos más comunes son: la deshidratación natural, por congelación, al vacío, por aire seco y por ósmosis. Hay muchos elementos que influyen en la elección de un método de deshidratación óptimo, por ejemplo:

1. Características del producto a deshidratar: actividad del agua, resistencia a la difusión, tamaño de los poros, etc.
2. Conductividad del calor.
3. Características de las mezclas aire / vapor a diferentes temperaturas.
4. Capacidad de rehidratación.
5. Características organolépticas finales.

2.2.1 Deshidratación natural

Se produce cuando se expone el alimento a corrientes naturales de aire, en un clima con alta temperatura y bajos niveles de humedad. Tiene la desventaja que es lento y el contenido de humedad de los alimentos no se ve reducido a menos del 15%, por lo que es más usado para frutas como ciruela, uva y durazno. Además se requiere de un gran espacio y cuidados especiales, pues la fruta puede ser sujeta a contaminación por polvo, insectos o roedores. También es conveniente proteger la fruta de la lluvia y la humedad nocturna, razón por la que se tiende a secarla bajo techo.

2.2.2 Deshidratación por congelamiento

Se basa en el principio que el agua se evapora del hielo sin que éste se derrita, por medio de una sublimación (el hielo pasa directamente al estado gaseoso). Debe mantenerse la temperatura y la presión por debajo de las

condiciones de punto triple (punto en el que pueden coexistir los tres estados físicos). El producto se pone en contacto con placas calentadas; el cambio de estado de hielo al gas va acompañado de una absorción de calor; se produce en equipos al vacío. Este método proporciona muchas ventajas, se reduce la alteración física de las frutas, mejora las características de reconstitución y reduce al mínimo las reacciones de oxidación y del tratamiento térmico.

2.2.3 Deshidratación por aire seco

Se aplica aire seco al producto, evaporando agua de los tejidos del mismo; este vapor es absorbido por el aire y alejado del producto. La presión de vapor de agua en el aire alrededor del alimento debe ser inferior a la presión parcial saturada a la temperatura de trabajo.

Este tipo de deshidratación puede realizarse de dos formas: por lotes o de forma continua. Pueden utilizarse varios equipos tales como túneles, secadores de bandeja, hornos, secadores de tambor o giratorios, y secador neumático. Los equipos suministran un elevado flujo de aire en las fases iniciales del proceso, el cual se reduce en las fases posteriores. Un factor por considerar es la caramelización de los azúcares y la decoloración al incrementar la temperatura de secado.

2.3 Efecto de la deshidratación en los alimentos

2.3.1 Textura

La textura de los alimentos es el parámetro de calidad que más se modifica con la desecación. Sus variaciones dependen mucho del tipo de pre-tratamiento que se le da al alimento (por ejemplo: adición de cloruro cálcico al

agua de escaldado), el tipo e intensidad con que se realiza la reducción de tamaño y el modo de pelado. En alimentos escaldados las pérdidas de textura están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido de agua durante la deshidratación. Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidas, confiriendo al alimento un aspecto arrugado. En la rehidratación estos alimentos absorben agua más lentamente y no llegan a adquirir de nuevo la textura firme característica de la materia prima original.

La variación en la textura depende también de las condiciones del desecador, por ejemplo, si se usan velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas los cambios serán más pronunciados que con flujos y temperaturas más bajas. A medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento.

Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua hace que la concentración de solutos en la superficie aumente lo que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable. Este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación dando lugar a un alimento seco en su superficie pero húmedo en su interior.

2.3.2 Aromas

El calor no sólo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento. Su mayor o menor pérdida dependerá de la temperatura, de la concentración de sólidos en el alimento y de la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua.

Por ello, alimentos especiales por sus características aromáticas (hierbas y especias) se deshidratan a temperaturas bajas.

La desecación también produce la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento. Estas oxidaciones se producen por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación. La velocidad a la que estos componentes se deterioran depende de la actividad de agua en el alimento y de la temperatura de almacenamiento. Las reacciones oxidativas influyen en la producción o destrucción de compuestos aromáticos.

2.3.3 Color

La deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas, β alaminas, etc. Por lo general cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas en estos pigmentos. La oxidación y la actividad enzimática residual favorecen el desarrollo del pardeado durante su almacenamiento. Ello puede evitarse usando el escaldado como tratamiento previo a la desecación o tratando la fruta con ácido ascórbico u otros compuestos.

2.3.4 Valor nutritivo

Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación previa de frutas y verduras, que son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación. La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. A medida que el proceso de deshidratación avanza algunas (por ejemplo: la riboflavina) alcanzan su

sobresaturación y precipitan. Las pérdidas, por tanto, son pequeñas. Otras, (por ejemplo: el ácido ascórbico) se mantienen disueltas hasta que el contenido en agua del alimento es muy bajo y reaccionan con los solutos a mayor velocidad a medida que el proceso progresa.

La vitamina C es también sensible al calor y la oxidación. Por ello, los tiempos de deshidratación deben ser cortos. Otras vitaminas liposolubles son más estables (a la oxidación y al calor) por lo que sus pérdidas rara vez son superiores al 5 – 10%. Los nutrientes liposolubles se encuentran, en su mayor parte, en la materia seca del alimento, por lo que durante la deshidratación no experimentan concentración alguna. Los metales pesados, sin embargo, actúan como catalizadores de reacciones de oxidación de nutrientes insaturados, están disueltos en la fase acuosa del alimento. A medida que el agua se elimina, su reactividad aumenta y las reacciones de oxidación (de lípidos esenciales también) se aceleran. La deshidratación no cambia sustancialmente el valor biológico y la digestibilidad de las proteínas de la mayor parte de los alimentos.

2.4 Deshidratación osmótica

La ósmosis se produce cuando un material está en contacto con una solución y permite el paso de algunas moléculas pero no de otras por medio de una membrana semipermeable. Esta característica es dada por la porosidad en la membrana; si esta membrana se coloca entre dos soluciones con distinta concentración, las moléculas del disolvente pasarán en ambas direcciones a través de la misma con un movimiento de disolvente de la solución menos concentrada hacia la más concentrada.

La ósmosis tiene muchas aplicaciones; desde procesos medicinales hasta la desalinización de agua de mar. La deshidratación de alimentos por medio de ósmosis es un método de conservación que interesa mucho y es objeto de investigación en el área de tecnología de alimentos, pues al mismo tiempo que se inhibe el crecimiento microbiano mediante la disminución del contenido de agua, se utilizan temperaturas bajas que favorecen la conservación de las características organolépticas de los productos, lo que reduce también los costos de energía del proceso.

La presión requerida para evitar la ósmosis se conoce como presión osmótica. El proceso de deshidratación osmótica consiste en colocar los alimentos en una solución hipertónica (presión osmótica mayor con respecto al material) provocando que exista una transferencia de masa como resultado de una diferencia de concentraciones, con un movimiento desde el lugar con alta concentración (solución) al lugar con baja concentración (el alimento) eliminando el agua de este último. Con la deshidratación osmótica se remueven cantidades significativas de agua y del mismo modo se impregna de soluto.

Debido a que algunos alimentos presentan una estructura molecular rígida que puede considerarse como una membrana semipermeable; al sumergir trozos de estos en una solución concentrada de sales o azúcares, puede producir ósmosis, pues existirá una transferencia de agua desde el alimento hasta la solución. Como existe mayor presión osmótica, a medida que se incremente la diferencia entre las concentraciones del jarabe y los trozos del alimento, ésta pierde un porcentaje de agua a distintas horas de inmersión. Además, no existe transferencia del soluto a través de la membrana en dirección inversa, o la velocidad es muy lenta.

La deshidratación osmótica se considera como producto de la saturación de las capas exteriores del material. Si una solución no es uniforme con respecto a la concentración de los componentes, la misma alcanzará la uniformidad de manera espontánea por difusión, pues la sustancia se moverá de un punto de concentración elevada a otro con concentración más baja. La mayoría de los modelos matemáticos se calculan en base a la ley de Fick, según la cual, la difusividad (una medida de la movilidad de difusión) de un componente en una solución es la relación entre el flujo por unidad de área (flux) y su gradiente de concentración.

El agua durante la deshidratación osmótica puede perderse en dos etapas:

- 1) Una etapa que dura aproximadamente dos horas (dependiendo del tipo de alimento) donde existe una remoción de agua a una velocidad alta.
- 2) Una etapa de dos a seis horas (dependiendo del tipo de alimento) con una remoción de agua en decrecimiento.

Las frutas pueden contener agua de tres tipos:

- a) Agua ligada presente en las células y que forma soluciones con sustancias orgánicas.
- b) Agua con enlace coloidal presente en las membranas, más difícil de remover durante el proceso de secado o deshidratado.
- c) Agua de constitución o agua no ligada que está directamente conectada con los componentes moleculares y que también es difícil su remoción.

La temperatura y concentración de las soluciones osmóticas afectan la velocidad de pérdida de agua del producto. Al comparar el secado por aire

seco, la deshidratación osmótica es más rápida, pues la eliminación del agua ocurre sin un cambio de fase.

La deshidratación osmótica modifica la composición del producto y mejora sus propiedades sensoriales y nutricionales por unidad de masa. Además, disminuye la presencia de microorganismos y hongos, al mismo tiempo que protege la pigmentación de los vegetales. Aumentar el contenido de sólidos dentro de los alimentos no es un proceso de conservación, sino una etapa de tratamiento previo para operaciones de conservación y almacenaje.

Si se somete un producto a deshidratación osmótica previo al secado, se puede aumentar la capacidad de los secadores y el rendimiento en la etapa final. Esto reduce la energía, y la mejora los productos naturales. Los métodos combinados, o efectos de barreras u obstáculos, reducen el crecimiento microbiano en alimentos al combinar factores de conservación tales como: la disminución del pH, la inclusión de agentes antimicrobianos y el calentamiento moderado.

Si el beneficio de un pH bajo es combinado con otro método que disminuya la actividad de agua, se genera un efecto antimicrobiano bastante eficaz. Debe tomarse en cuenta que si se agrega un acidificante éste debe añadirse de tal forma que no se vea modificado el sabor del alimento. El ácido cítrico es considerado como un acidificante natural, provee la acidez uniforme. Si el pH está por debajo de 4.6 se convierte en un inhibidor microbiano. En las frutas y verduras procesadas ayuda a optimizar el sabor, y funciona como un antioxidante para inhibir el deterioro del color y sabor debido a las reacciones enzimáticas. Además inactiva las enzimas no deseadas, pues éstas generalmente dependen del pH.

2.4.1 Principios y fundamentos

El fenómeno de deshidratación osmótica se ha tratado de explicar a partir de los conceptos fundamentales de transferencia de masa al establecer el origen de las fuerzas impulsoras difusivas involucradas. El mecanismo de impregnación se considera que es producto de la casi saturación de las capas exteriores o superficiales; la mayoría de las explicaciones y el modelado y cálculo de los parámetros que los describen han sido calculados a partir de la segunda ley de Fick.

Como se trata de la conservación de un material por disminución de actividad de agua, usando la fuerza osmótica de una solución de azúcar, sal u otros materiales, se puede realizar a temperatura del ambiente. Ello trae consigo muchos beneficios, especialmente en la calidad sensorial como sabor, aroma y color.

Las soluciones que se usan como agentes osmóticos son soluciones concentradas de sacarosa, salmueras de alta concentración, maltodextrinas y jarabes de maíz de variada composición. Se deben buscar las soluciones de mayor fuerza osmótica, pero que al mismo tiempo afecten lo menos posible al producto; se debe sacar agua, pero no incorporar solutos al producto.

2.4.2 Fenómenos de Membranas: La ósmosis

2.4.2.1 Difusión a través de membranas

Es el tipo de difusión de mayor importancia biológica. Las membranas biológicas o artificiales se definen como estructuras laminares con poros de determinadas dimensiones. El comportamiento de la membrana depende,

fundamentalmente, de la relación entre el diámetro de los poros y el de las partículas.

Las membranas se clasifican en cuatro grupos fundamentales: impermeables, semipermeables, dialíticas y permeables. Las disoluciones de importancia biológica son acuosas, es decir, el disolvente es el agua, pero los solutos son muy variados: coloidales (como proteínas y polisacáridos) y verdaderos, tipo salino como NaCl, glucosa, urea, etc.

- **Membranas impermeables:** No son atravesadas ni por el disolvente ni por el soluto.
- **Membranas semipermeables:** Las puede atravesar el agua pero no los solutos.
- **Membranas dialíticas:** Permeables al agua y solutos verdaderos.
- **Membranas permeables:** Permiten el paso de agua y solutos verdaderos y coloidales. Sólo son impermeables a dispersiones groseras.

Las membranas biológicas no encajan realmente en ninguno de estos grupos porque junto a sus propiedades de permeabilidad presentan el fenómeno de variabilidad selectiva, es decir, el paso de sustancias está condicionado por fenómenos metabólicos de la membrana que modifican el tipo de difusión que sería posible atendiendo sólo a sus propiedades físico-químicas.

2.4.2.2 Ósmosis

La ósmosis, como se menciona anteriormente, es el fenómeno por el cual el disolvente fluye a través de una membrana semipermeable para igualar

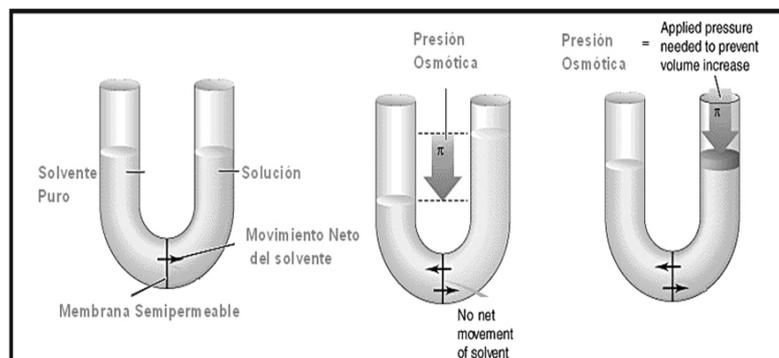
la concentración de las disoluciones a ambos lados de la membrana. El flujo de disolvente se produce a través de la membrana en dos direcciones; sin embargo, la velocidad de flujo desde la disolución menos concentrada a la más concentrada es mayor que a la inversa.

En general, la presión osmótica es una propiedad coligativa de una disolución igual a la presión que, aplicada a la disolución, detiene la ósmosis. Se denota con la letra griega π y se define matemáticamente como $\pi = MRT$, donde M es la concentración molar de soluto, R es la constante de los gases y T la temperatura absoluta.

2.4.2.3 Ósmosis inversa

Si se aplica en el lado B una presión inferior a la presión osmótica del agua salada, el agua fluirá desde el compartimento A al B, en un proceso normal de ósmosis. Sin embargo, si la presión aplicada en B es superior a la osmótica, se puede producir un flujo neto de agua en la dirección inversa, es decir, desde el agua salada al agua pura. Este es el proceso conocido como ósmosis inversa y se emplea para desalinización del agua salada.

Figura 1. Ósmosis y Ósmosis Inversa



Fuente: Referencia 14

2.4.3 Modelos de deshidratación osmótica

2.4.3.1 Modelado fenomenológico

No trata de explicar el mecanismo de la transferencia de materia a través de un modelo fisicoquímico, sino que sólo intenta relacionar la pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG) con las condiciones operativas a través de relaciones muy simples, generalmente de validez limitada al caso en estudio.

2.4.3.2 Modelado microscópico-estructural:

Los modelos más simplificados consideran difusión en un sistema homogéneo. Plantean el balance para el sistema y, a partir de la solución analítica y de datos experimentales, regresionan un coeficiente de difusión aparente para cada componente que difunde.

En el otro extremo, existen modelos muy elaborados que combinan la difusión multicomponente con la existencia de elementos estructurales (pared celular, membrana protoplasmática, espacios intercelulares), a través de los cuales deben difundir los componentes, y que implican resistencias adicionales y generan la aparición de numerosos coeficientes, difíciles de calcular o medir.

2.4.4 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica:

2.4.4.1 Ventajas:

- Evita pérdidas de aromas de los alimentos, pues éstos son volátiles a altas temperaturas; debido a que el agua que sale del alimento va a la solución concentrada en estado líquido.

- La ausencia de aire en el interior de la masa de jarabe donde se halla sumergido el alimento, evita las correspondientes reacciones de oxidación que afectan directamente la apariencia del producto final.
- En este proceso no se rompen las células, por lo cual puede mantenerse un alto nivel de calidad sensorial en el producto final.
- El producto final puede mantenerse estable a temperatura ambiente en condiciones de humedad restringidas.
- La solución de tratamiento puede hacerse a base de azúcares (frutas) y salmueras (verduras) que son de fácil adquisición.

2.4.4.2 Desventajas:

- No se puede aplicar en todos los alimentos, sólo en aquellos que presentan estructura sólida.
- Cuando el alimento se sumerge en una solución concentrada, puede aparecer un pequeño residuo de la misma solución al finalizar el proceso; esto puede minimizarse si se escurre el alimento.
- Al haber una inmersión del alimento en el jarabe, se ocasiona flotación, pues algunas muestras del alimento serán menos densos. El jarabe no circulará completamente sobre los trozos y superficies y se obtendrá una ósmosis parcial. Puede solucionarse colocando un contra peso de manera que el alimento siempre esté en contacto con la solución concentrada.

- Muchas veces el grado de humedad al final del proceso no es suficientemente bajo y es necesario complementar con otras técnicas como secado o congelamiento.

2.4.5 Daños comunes en la deshidratación osmótica y formas de Prevención.

Tabla II. Daños comunes en la deshidratación osmótica

Daño	Causa	Prevención
Enmohecimiento	Producto de alta humedad, actividad de agua mayor a 0.7	Reducción del contenido de humedad. Empaque al vacío o hermético, con atmósfera controlada.
Contaminación por plagas	Presencia de insectos o larvas en el producto seco	Desinfección del lugar de almacenamiento. Pasteurización: someter a desinfección por calentamiento los alimentos a una temperatura de (60-65°C) previo al empaque. Control de plagas.
Oscurecimiento	Reacción enzimática o química del alimento	Reducción del contenido de agua. Almacenaje a baja temperatura. Inactivar enzimas por medio de un proceso de blanqueado. Añadir un antioxidante al proceso.

Fuente: FAO. Boletín No. 119.

2.4.6 Agente osmótico

Es la sustancia utilizada para promover la fuerza impulsora osmótica; debe ser no tóxica y poseer sabor agradable. Para seleccionarla se debe considerar tres factores principales:

- 1) Las características sensoriales del producto a deshidratar
- 2) El costo del agente
- 3) El peso molecular del agente

Agentes osmóticos más utilizados para deshidrataciones:

- cloruro de sodio
- sacarosa
- jarabe de maíz con alta concentración de fructosa
- glicerol

Otros agentes que no son tan utilizados debido que son más costosos, son menos accesibles y algunos pueden causar un sabor desagradable al alimento:

- etanol
- lactato de sodio
- alanina
- polietilenglicol
- L-lisina
- caseína
- glutamato monosódico
- proteína de soya

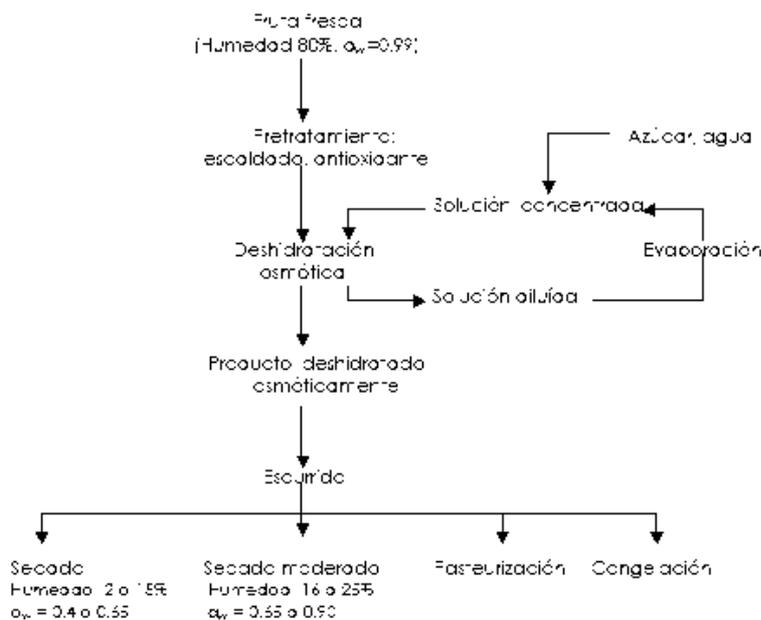
2.4.6.1 Ventajas y usos

Tabla III. Ventajas de algunos agentes osmóticos

Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro de Sodio	Para carnes y vegetales	Alta disminución de la actividad del agua (a_w)
Sacarosa	Principalmente frutas	Aumenta la retención de sustancias volátiles
Lactosa	Principalmente frutas	Sustitución parcial de sacarosa
Glicerol	Frutas y vegetales	Mejora la textura

Fuente: Vega-Mercado, H. Barbosa-Cánovas, 1996.

2.4.7 Aplicación industrial de la deshidratación osmótica



Tomado de Vega-Mercado, Barbosa-Cánovas, 1996.

2.5 Arveja China

2.5.1 Generalidades

La arveja china (*Pisum sativum* L.) es conocida también con los nombres de guisante o chícharo. Es una leguminosa originaria del mediterráneo y África Oriental. La arveja china fue llevada a China desde Persia cerca del año 400 a.C. y en América fueron llevadas desde tiempos coloniales.

Tabla IV. Clasificación Botánica

Reino	Plantae (Vegetal)
División	<i>Embryophyta</i>
Sub reino	<i>Diplodialia</i>
Clase	<i>Dicotiledónea</i>
Sub clase	<i>Archichlamydeae</i>
Orden	<i>Rosidae</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Sub familia	<i>Papilionoideae</i>
Género	<i>Pisum</i>
Especie	<i>Sativum</i>
Nombre común	Arveja China

Fuente: Urizar, 1998.

2.5.1.1 Composición Química de la Arveja China

Tabla V. Composición química

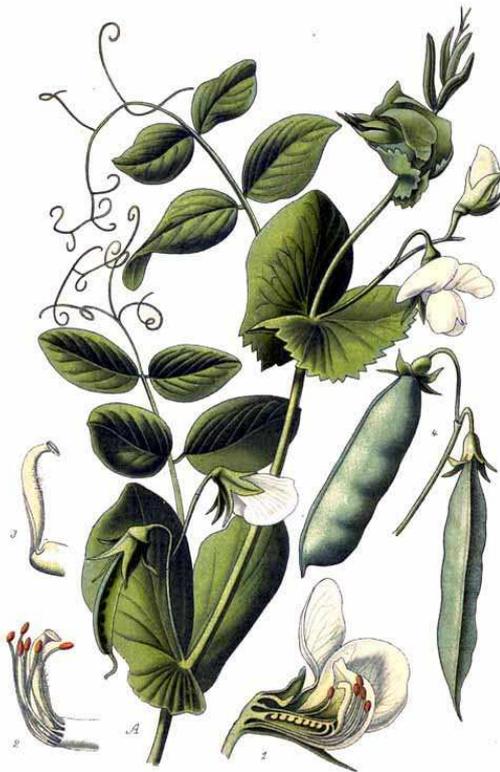
COMPONENTE	CANTIDAD (g/100g)
Humedad	87 - 90
Energía	42 Kcal
Proteína	2.8 g
Grasa	0.2 g
Carbohidratos	7.6 g
Cenizas	0.6 g
Calcio	43 mg
Fósforo	53 mg
Hierro	2.1 mg
Tiamina	0.15 mg
Riboflavina	0.08 mg
Niacina	0.60 mg
Vitamina C	60 mg
Retinol Equivalente	14 meq

Fuente: INCAP, 1996.

2.5.2 Fenología del cultivo

La arveja china pasa por 5 etapas fenológicas, que se inician con la germinación, para luego pasar por su desarrollo vegetativo; al concluir su etapa vegetativa inicia la etapa reproductiva con la brotación de yemas florales; como consecuencia de la fecundación de la flor se da la formación de vainas, que se realiza paralelamente con la cosecha.

Figura 2. Planta de arveja china, *Pisum sativum* L.



Fuente: Referencia 7

2.5.2.1 Etapa de germinación-emergencia

La germinación de la arveja china se inicia desde el momento en que se coloca la semilla en el suelo, el cual deberá tener suficiente humedad. El tiempo que tarda la planta en emerger, está determinado por tres factores de importancia; el primero de ellos es el tipo de suelo, la humedad y la profundidad de siembra, que de acuerdo a las condiciones climáticas prevalecientes varía. Como un dato promedio se espera la emergencia de la plántula a los 5 días después la siembra. Esto es importante para el productor, porque después de este período podrá determinar el porcentaje de germinación y la población que tendrá por área en el ciclo del cultivo.

2.5.2.2 Etapa de desarrollo vegetativo

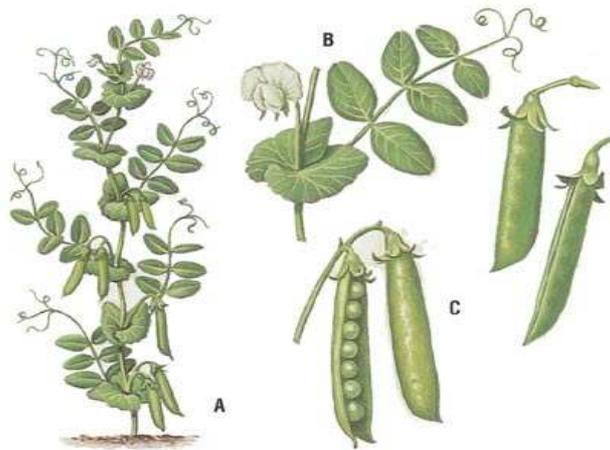
El desarrollo vegetativo de la arveja china varía dependiendo de su hábito de crecimiento, “enano” o “gigante”. Con arveja enana, esta etapa dura alrededor de 55 días después de la siembra y con las variedades gigantes, 60 días, llegando a formar hasta 12 nudos. Alcanza en la etapa vegetativa, un altura aproximada de 0.5 m.

2.5.2.3 Inicio de la floración y cosecha

En las variedades enanas la floración se inicia a los 55 días con una duración de 30 días y en las gigantes a los 60 y dura 50 días, a los 100 días después de la siembra, alcanza una altura aproximada de 1.0 m. El inicio de la floración le permite al productor la oportunidad de preparar los jornales y el equipo para la cosecha que se aproxima y confirmar el mercado de su producto.

Las vainas se cosechan constantemente y paralela a ésta, la planta sigue floreciendo. Desde el momento de la floración hasta que la vaina está lista para cosecharla, transcurren de 9 a 11 días. El período de cosecha comienza a los 65 días después de la siembra, finalizando a los 100 días después de haberse sembrado para variedades enanas y 117 días para las gigantes.

Figura 3. a) Planta de arveja china, b) floración y c) vaina



Fuente: Referencia 7

2.5.3 Características de la planta de arveja china

Es una planta de hábitos trepadores. Según la variedad, presenta alturas comprendidas entre 0.50m y 1.75m o más; las variedades que alcanzan 1m de altura se les llaman de hábito determinado o enanas y a las que sobrepasan 1.00 m se les llama de hábito indeterminado o gigantes. La arveja china es una planta anual, con tallo herbáceo que puede alcanzar hasta 1.75 metros de altura, de hábito trepador. Posee hojas alternas acorazonadas y achatadas en la punta, con una longitud de 6 cm y ancho de 3.5 cm.

Las flores son axilares de color blanco. Las vainas son levemente curvas de color verde claro, gruesas y jugosas.

Los tallos son monopódicos, herbáceos y huecos; sus hojas pinnaticompuestas tienen filotaxia alterna, con uno, dos o tres pares de folíolos, con un zarcillo terminal. Las flores son axilares, hermafroditas, de color blanco en la mayoría de variedades, pero existen de color lila, son sencillas que nacen en pares sobre pedúnculos pargos (pares); el fruto es una vaina de color verde y de consistencia carnosa, que debe cosecharse antes que haya formado fibras; es catalogada de comprimida y plana con una longitud de 6-12 cm de largo; las ramas no presentan constricciones.

Las semillas pueden ser redondas, lisas o rugosas cuando ya están deshidratadas o secas. La arveja china se reproduce sexualmente por medio de semillas almacenadas bajo condiciones óptimas conservan su poder germinativo durante 2 ó 3 años. Es una planta anual. Su ciclo vegetativo está determinado por la variedad y en menor grado por las condiciones ambientales. En términos generales está comprendido entre los 75 y 120 días.

2.5.3.1 Condiciones agroecológicas

La arveja china requiere temperaturas óptimas de 15 a 18°C. Tolerancia temperaturas máximas de 21 a 24°C y mínima de 7°C. Se adapta bien a una altura sobre el nivel del mar de 1000 a 3000 metros. Esta planta se adapta a una gran variedad de suelos, prefiriendo los francos arcillosos, fértiles y profundos, bien drenados, pH comprendido entre 5.5 y 6.7. La siembra puede realizarse durante todo el año con riego.

La arveja china se adapta bien en alturas comprendidas entre 1500 y 2400 m.s.n.m. Se desarrolla bien en temperaturas comprendidas entre los 10 y 24 grados centígrados. Cuando las temperaturas son muy elevadas aborta tanto flores como frutos. Mientras que cuando son muy bajas la vaina no crece lo suficiente. Es una planta resistente al clima frío y poco resistente a la sequía. Se desarrolla bien en clima templado.

En lo referente a la época de siembra, en el altiplano central de Guatemala se cultiva durante todo el año. Sin embargo en los meses de diciembre a febrero y principios de marzo se corre el riesgo de heladas. Puede adaptarse a diferentes tipos de suelos, a excepción de los muy compactos. Prefiere los suelos sueltos, arenosos y de estructura no compacta (bien drenados) con un pH comprendido entre 6 y 7. Las siembras se hacen en filas simples, con distanciamientos para especies enanas de 1.25 metros entre surcos y 0.05 metros entre posturas. Las variedades gigantes se siembran a distancias de 1.50 metros entre surcos y 0.05 metros entre posturas.

2.5.3.2 Producción de arveja china

2.5.3.2.1 La cosecha y requisitos de calidad de la arveja china

Todos los agricultores realizan la clasificación de la arveja en el campo. En esta clasificación se pierde de 3 a 5 % de la producción total de arveja. La clasificación debe realizarse en la sombra, aspecto que generalmente lo realizan las mujeres. Normalmente se realiza en construcción rústicas como galerías ubicadas en las mismas parcelas de cultivo.

Entre los requisitos de buena calidad se tiene que el tamaño de la vaina debe ser entre 7 y 9 centímetros de largo, de preferencia con 2.5 centímetros

de ancho. El producto debe ser de no más de cuatro días de cosechado, vainas bien despuntadas, vainas de color verde oscuro, vainas sin manchas, vainas no torcidas y además no lastimadas por manejo y transporte.

La mala calidad está representada por el tamaño muy pequeño o muy grande, golpe mecánico debido al mal manejo del transporte, mal despuntado representado cuando se corta más de lo necesario y también mala coloración de la vaina debida a falta de fertilización.

2.5.3.2.2 Post-cosecha

A nivel general los aspectos incluyen no sobre madurez de vainas, no malformaciones, no vainas quebradas o torcidas, sin quemaduras por frío, sin pudriciones, libres de manchas o lastimaduras. Las vainas deben estar frescas o turgentes, firmes, planas y de un largo de 7 a 9 centímetros. El traslado del producto debe ser en canastas plásticas y no en costales, ya que debido a este mal manejo se tiene un promedio de pérdidas de hasta el 10%.

2.5.3.2.3 Producción

La arveja (*Pisum sativum L.*) es una planta que se cultiva extensamente para aprovechar su semilla y vaina para consumo humano y como leguminosa verde para forraje de animales. Es una legumbre muy aceptada en el ámbito internacional, lo que ha provocado la apertura constante de nuevos mercados, especialmente en los Estados Unidos, Canadá y Europa.

En la actualidad es un cultivo de mucha importancia para Guatemala. Aunque su consumo dentro de la población guatemalteca es escaso, su demanda a escala internacional la ha convertido en un cultivo de exportación,

capaz de generar gran cantidad de divisas a los países productores. El monto de las exportaciones en la actualidad está arriba de los 40 millones de libras abasteciendo el 70% del mercado norteamericano.

Por otro lado, también se benefician proveedores de insumos, trabajadores de plantas empacadoras o procesadoras, transportistas, exportadores, telecomunicaciones y agencias de carga. Guatemala es uno de los principales exportadores de arveja china en el mundo conjuntamente con México, República Dominicana y Honduras. Los principales competidores de Guatemala son California (EE.UU.), México, Perú contando con un producto uniforme aunque no de muy buena calidad y Costa Rica.

2.5.4 Zonas de producción en Guatemala

La arveja china es una planta hortícola propia de clima templado fresco. En Guatemala se siembra en climas templados y fríos, con una temperatura ambiental de 7 a 24°C. Se produce adecuadamente en alturas de 4,600 a 4,700 pies sobre el nivel del mar y se desarrolla bien en humedades relativas de 60 a 85%, (Urizar, 1998).

La época de cosecha de la arveja china es durante todo el año, pero presenta un incremento en los meses de octubre a enero. (Hernández, 1990). Los departamentos productores en Guatemala son: Chimaltenango (79.19%), Sacatepéquez (18.23%), Quiché (0.84%), Jalapa (0.77%) y Sololá (0.32%) (Alvarado, 1995). El área cultivada de arveja china también se ha venido incrementando a través de los años; en el año 1975 se inició la siembra de arveja, cultivándose 4.2 hectáreas; para 1988, 2730 hectáreas; y en 1994 se reportaron 2870 hectáreas cultivadas con arveja china.

2.5.5 Exportación de arveja china

Los países a los que se exporta la arveja china de Guatemala son principalmente: Estados Unidos, Alemania, Bélgica, Inglaterra, Canadá y México. Datos procedentes de la Gremial de Exportadores de Productos No Tradicionales de Guatemala (AGEXPRONT), indican que a partir del año 1986 los volúmenes de exportación han aumentado. Durante el año 1986, se reporta un volumen de exportación de 3 millones de libras (1.4 millones de kg), mientras que para el año 1994 se logró exportar 35 millones de libras (16 millones de kg). Esto convierte a la arveja china, juntamente con el brócoli, en el líder de los productos vegetales de exportación no tradicionales de Guatemala. (Urizar, 1998). El valor total de las exportaciones de arveja china para julio del 2004, fueron de US \$37, 732,235.11 (Data Export, 2004).

2.5.6 Consumo de arveja china en Guatemala

La mayoría de la producción de arveja china en el país, es con fines de exportación. Su consumo en el país es bajo, debido a que ésta no forma parte de la dieta alimenticia de la gran mayoría de la población. Por la falta de información y de datos confiables, no es preciso detallar exactamente la cantidad consumida de arveja china en Guatemala. Esta falta de información, se debe a que existen pequeños agricultores que destinan entre sus extensiones del cultivo principal, limitadas extensiones de tierra para el cultivo de arveja china, que no es para exportación sino que es llevada a los distintos mercados de su comunidad. La comercialización de arveja china en Guatemala, la hacen principalmente los siguientes grupos:

1. **Cooperativas:** que cuentan con una cantidad apreciable de asociados, a los cuales prestan asistencia técnica y financiera.

2. **Empresas Exportadoras:** son las que compran a agricultores y cooperativas su producto.
3. **Mercados Comunales:** a éstos llega la producción de pequeños agricultores.

Al tener como marco de referencia la situación existente en la comercialización y el consumo de arveja china en Guatemala, se podría hacer una estimación de 15% de la producción nacional que es consumida en el país. (Urizar, 1998).

Tabla VI. Valor nutricional de 100 gramos de arveja comestible

Calorías	106.0
Agua	72.60%
Proteínas	7.10 g
Carbohidratos	18.80 g
Fibra	3.40 g
Cenizas	0.90 g
Calcio	27 mg
Fósforo	134 mg
Hierro	1.70 mg
Vitamina A	383.03 U.I.
Vitamina B1	0.28 mg
Vitamina B2	0.18 mg
Niacina	2.15 mg
Vitamina C	22.30 mg

Fuente: Data Export, Julio 2004

2.6 Secado

El secado consiste en separar pequeñas partículas de agua de un material sólido para reducir el contenido de agua residual hasta un valor aceptablemente bajo. Si se trata de alimentos, se refiere a la remoción de agua del producto alimenticio; en la mayoría de los casos es acompañado por evaporación del agua que contiene el alimento.

El secado puede ser una parte complementaria de la deshidratación osmótica, pues muchas veces el producto osmótico no tiene el porcentaje de humedad lo suficientemente bajo (menos del 8%) como para considerarlo deshidratado. En este proceso se debe poner el material en contacto directo con un gas seco a presión atmosférica y el vapor de agua formado se elimina por medio de la misma corriente de gas.

Los productos alimenticios pueden ser secados por aire, vapor sobrecalentado, en vacío y en gas inerte. Generalmente, se utiliza el aire como medio secante, debido a su abundancia, su conveniencia y a que puede ser controlado el sobrecalentamiento del alimento.

2.6.1 Factores que intervienen en el proceso de secado

2.6.1.1 Temperatura del aire

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que vaya a someterse al proceso.

Existen diversos niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso técnico de secado:

- **Temperatura de bulbo seco:** es aquella del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.
- **Temperatura superficial:** es la de la especie a secar, generalmente se mide por medio de un sensor infrarrojo.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de su superficie.

Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.

2.6.1.2 Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tienen la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación.

2.6.1.3 Velocidad del aire

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material.

La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuando menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire.

Durante las primeras horas de secado, la velocidad del aire desempeña un papel importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

Las ventajas de velocidades altas de aire, disminuyen en cuanto mayor es el espesor del material, menor el contenido de humedad inicial y la temperatura de bulbo seco inicial. En la práctica, la economía del proceso determina la velocidad del aire. Se utilizan velocidades mayores a 3 m/s sólo en casos excepcionales (material muy húmedo), pero en general, la velocidad se considera entre de 2 m/s a 3m/s.

2.6.2 Factores indeseados durante el secado

Durante el secado de alimentos se presentan una serie de fenómenos que no siempre son deseables, entre ellos se encuentran el movimiento de solutos en el interior del sólido, la retracción y el endurecimiento superficial.

2.6.2.1 Movimiento de solutos

En el movimiento de solutos, el agua líquida que fluye hacia la superficie durante la desecación contiene diversos productos disueltos. El movimiento de algunos compuestos solubles, resulta impedido por las paredes celulares que actúan como membranas semipermeables. A la migración de sólidos en los alimentos contribuye también la retracción del producto, que crea presiones en el interior de las piezas. El resultado neto de estos factores puede ser la deposición de componentes solubles en la superficie al evaporarse el agua. Cuando la superficie se deseca, se establece un gradiente de concentración entre la superficie y el centro húmedo de la pieza que puede dar origen a la difusión de productos solubles hacia el centro. El que predomine uno u otro de ambos fenómenos depende de las características del producto y de las condiciones de desecación.

2.6.2.2 Retracción

Los productos coloidales también se retraen cuando se desecan. Durante las primeras fases de desecación a bajas velocidades, la cuantía de la retracción está simplemente relacionada con la cantidad de humedad eliminada. Hacia el final de la desecación, la retracción es cada vez menor de modo tal que el tamaño y las formas finales o definitivas del producto se alcanza antes de completarse la desecación.

2.6.2.3 Endurecimiento superficial

Se ha observado que durante la desecación de algunas frutas, carnes y pescados, frecuentemente se forma en la superficie una película impermeable y dura. Esta determina normalmente una reducción de la velocidad de desecación y a este fenómeno se le suele denominar endurecimiento superficial. Es probable que esté influido por múltiples factores, entre los que figura la migración de sólidos solubles a la superficie y las elevadas temperaturas que se alcanzan en la superficie hacia el final de la desecación que inducen complejos cambios físicos y químicos en la capa superficial.

2.7 Análisis Sensorial

En este tipo de análisis, panelistas humanos miden características sensoriales y aceptabilidad de productos alimenticios mediante la vista, gusto, tacto, oído y olfato para este fin. Las pruebas sensoriales se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de datos obtenidos. Cuando se utilizan panelistas no entrenados se está obteniendo información sobre el gusto, la preferencia, la aceptabilidad específicas del consumidor. Si se emplean paneles entrenados, éstos funcionan como instrumentos de medición identificando diferencias entre productos alimenticios similares o intensidad de las características.

La visión es el primer sentido que interviene en la evaluación de un alimento, captando todos los atributos que se relacionan con la apariencia: aspecto, tamaño, color, forma, defectos, etc.

El sabor es definido como la sensación percibida a través de las terminaciones nerviosas de los sentidos del olfato y gusto, sin tomar en cuenta otros factores de estimulación como la presión arterial y los cutáneos de frío,

calor y dolor. El sentido del gusto está localizado principalmente en la lengua y cavidad bucal. Los receptores del sentido del gusto lo constituyen las papilas gustativas ubicadas en la lengua, las cuales se encargan de registrar las sensaciones gustativas. Se definen cuatro sensaciones básicas: amarga, dulce, salada y ácido, salado. Las demás sensaciones proceden de una combinación de estas cuatro en distintas proporciones e intensidades. Los gustos o sensaciones básicas no se pueden neutralizar entre sí, pero sí se pueden modificar para disminuir la intensidad del gusto o hacerlo resaltar. Existe una estrecha relación entre el sentido del gusto y la vista y del gusto y el olfato. Se ha comprobado experimentalmente que al eliminar la sensación del olfato difícilmente se puede distinguir entre el sabor de manzanas, peras y nabos, o entre agua y vino.

El olor es la sensación producida al estimular el sentido del olfato; el aroma es la fragancia del alimento que permite la estimulación de este sentido. El sentido está ubicado en el epitelio olfatorio de la nariz; está constituido por células olfatorias ciliadas, que son las encargadas de la recepción olfatoria. Es un órgano con gran facultad de discriminación y sensibilidad, capaz de distinguir de 2,000 a 4,000 olores diferentes. La importancia de los aromatizantes radica en la función que desempeñan, ya que al mezclar los aromas de distintos alimentos puede resultar una mezcla parcial o desarrollar un nuevo aroma, el cual tiene incidencia en la percepción gustativa del alimento a degustar.

Se han hecho intentos para agrupar sensaciones olfativas, en 1752 Linneo estableció siete olores: fragante, aromático, ambrosíaco, aliáceo, caprílico, fétido y nauseabundo. Un más de un siglo después se propuso un compuesto químico básico para cada uno de estos olores. El umbral del olfato presenta más sensibilidad y posee mayor poder de discriminación que el

sentido del gusto; existen muchos factores que lo afectan como el volumen y duración del flujo de aire que llega a la mucosa olfatoria, la humedad del ambiente y la presencia de ruidos. El olfato tiene efecto en la sensación de hambre, registrando horas con mayor sensibilidad olfativa y disminuyendo ésta después de las comidas.

En cuanto a la textura, no existe una definición satisfactoria, pero se refiere a un grupo de características o propiedades asociadas a la estructura del alimento; no es una propiedad singular. Es sentida por el sentido del tacto, en la boca, aunque se involucren a veces las manos. No está vinculada a sensaciones químicas. Se han realizado clasificaciones de la textura agrupando alimentos con estructura semejante como: líquidos (agua, leche), geles (gelatinas), alimentos fibrosos (apio, espárragos), alimentos turgentes (hortalizas), alimentos untuosos (mayonesa), alimentos friables (remolachas), alimentos cristalinos (dulces, caramelos), alimentos espumantes o esponjosos (helados, turrónes, pan).

El ruido o sonido que se produce al masticar o palpar alimentos constituye una información apreciada por los consumidores. Muchas veces se utiliza para reconocer el grado de madurez, razón por la que se golpean algunas frutas y en el caso de los quesos para identificar la formación de agujeros formados. El sentido de la audición percibe en el aire las vibraciones acústicas que son recogidas por el oído externo y llevadas al tímpano, el cual las transmite hasta el oído medio interno y de allí llevadas al cerebro. Las vibraciones acústicas tienen dos dimensiones: la amplitud sonora y la frecuencia.

Una de las pruebas sensoriales orientadas al consumidor es la llamada prueba hedónica en donde se le pide a los panelistas evaluar muestras

codificadas de varios productos, indicando cuánto les agrada cada muestra. Son pruebas difíciles de interpretar ya que se trata de apreciaciones completamente personales, con la variabilidad que ello supone. Existen numerosos elementos determinantes en la aceptabilidad o preferencia de un producto; se pueden dividir en dos grupos:

1. **Características del alimento:** utilidad, estabilidad, almacenaje, valor nutricional, propiedades sensoriales, etc.
2. **Características del consumidor:** preferencias regionales, edad, sexo, religión, educación, motivación psicológica y motivación fisiológica.

El panel es el instrumento de prueba para el análisis sensorial. Las personas que estén involucradas en paneles de aceptabilidad no necesitan entrenamiento. Se debe recomendar que eviten el uso de materiales que tengan olores fuertes, tales como jabones, lociones y perfumes, antes de participar en los paneles; y abstenerse de comer, beber o fumar por lo menos 30 minutos antes del inicio de una prueba sensorial.

La muestra tomada debe ser representativa del lote por evaluar para dar validez al instrumento. Las porciones deben ser del mismo tamaño. En caso que los alimentos se presenten en porciones pequeñas, se debe suministrar una porción lo suficientemente grande para evaluar cada característica. La temperatura de las muestras tiene que ser la misma, debe ser la temperatura a la que se consume normalmente.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Variables

Las variables involucradas en la experimentación son:

- **Variables manipuladas:** temperatura, concentración de la solución.
- **Variables de control:** tiempo, relación 1:1 (producto/solución OD), peso inicial.
- **Variables de respuesta:** pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL), pérdida de humedad (HL).

3.2 Delimitación del campo de estudio

3.2.1 Planteamiento del problema

La demanda de productos agrícolas no tradicionales para la exportación en Guatemala crece constantemente, por eso se deben generar nuevas tecnologías de conservación que permitan un mayor volumen de exportación de alimentos, sin perder las características organolépticas y sensoriales de los mismos. Además, con una vida de anaquel mayor, los productos deshidratados pueden lograr una mayor expansión de la producción de bienes agrícolas no tradicionales en nuestro país. Así como avanzar hacia alimentos procesados con mayor valor agregado, que puedan exportarse hacia Norte América y Europa.

La deshidratación osmótica es un proceso de preservación de alimentos que ha tenido mayor importancia en los últimos años. Se elimina gran parte del contenido de humedad utilizando menos energía y al mismo tiempo conservando el alimento. Si fuera necesario usar un método complementario como aire seco para bajar el contenido de humedad, se puede usar bajas temperaturas y tiempos cortos para que el alimento no sufra de cambios enzimáticos y las propiedades como el color y el sabor sean retenidas.

Guatemala es uno de los principales exportadores de arveja a nivel mundial con un 13.4 % del total de las exportaciones. En el año 2005 el valor de las exportación guatemaltecas de arveja llegaron a su máximo con más de US \$17, 677,00 siendo uno de los productos agrícolas no tradicionales más exportados y su demanda va en incremento. La deshidratación osmótica es un procedimiento que puede explotarse como opción para su comercialización. De allí surge la siguiente interrogante:

3.2.1.1 Alcances

Entre los alcances que el presente estudio aporta, se enumeran las siguientes: a) como fuente bibliográfica y de consulta, b) como una guía para la elaboración de estudios y/o proyectos relacionados al proceso de deshidratación osmótica aplicados a productos guatemaltecos no tradicionales, c) como una opción para el desarrollo de nuevos productos y generación de empleos que contribuyan a la expansión, progreso y bienestar de la industria guatemalteca y d) como elemento de progreso y desarrollo para el sector agrícola del altiplano central y del país en general.

3.2.1.2 Aporte

Este trabajo de investigación es un aporte a la Universidad de San Carlos de Guatemala USAC. En él se integrarán los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Química. El estudio aclarará términos como ósmosis, con un ejemplo experimental específico: la deshidratación de la arveja china (*Pisum sativum L.*) y puede servir como base para la realización de procesos similares a mayor escala. Con esta investigación se espera contribuir al desarrollo de la industria hortofrutícola del país, implementando un método de aprovechamiento de productos perecederos, a través de la deshidratación osmótica.

Asimismo, la industria guatemalteca se beneficiará con este estudio, como insumo tecnológico para generar nuevas tecnologías en la exportación de productos no tradicionales; con ello se podrán crear directa o indirectamente nuevos empleos en la industria alimenticia generando divisas para el país.

3.3 Recursos humanos disponibles

Investigador:	Bach. Rubén Adolfo Sierra García.
Asesora:	Inga. Qca. Hilda Palma de Martini.
Co-asesor:	Ing. Qco. César Alfonso García Guerra.

3.4 Recursos materiales disponibles

3.4.1 Recursos físicos

1. Laboratorio de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, CII-USAC.

2. Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria, USAC.
3. Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería, USAC.

3.4.2 Materiales y equipo

3.4.2.1 Materia prima

Arveja china (*Pisum sativum L.*)

Figura 4. Granos de arveja china



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

3.4.2.2 Cristalería

- Balones.
- Cajas de petri.
- Earlenmeyers.
- Vidrio reloj.
- Termómetro de mercurio $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Beacker

Figura 5. Cristalería



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

3.4.2.3 Equipo

- Plancha de calentamiento
 - Marca: WWR
 - Modelo: PC-620
 - Voltaje: 120 V
 - Frecuencia: 60 Hz.
 - Potencia: 1113 W.
 - Hecha en Estados Unidos

- Termómetro e hidrómetro digital
 - Marca: HD
 - Modelo: HD – TH01C
 - Rango de temperatura:
-40°C a 109.9°C
 - Rango de humedad relativa:
20% a 99% (0-50°C)
 - Hecho en Estados Unidos

- Incubadora
 - Marca: Fischer Scientific
Isotemp 500 series
 - Modelo: 516D
 - Voltaje: 115 V
 - Frecuencia: 60 Hz.
 - Hecho en Estados Unidos

Figura 6. Plancha de calentamiento



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

Figura 7. Termo-hidrómetro digital



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

Figura 8. Incubadora



Fuente: Laboratorio del Área de Química y Microbiología de la USAC

- Balanza
 - Marca: Adventurer
 - Voltaje: 8 -14.5 V
 - Frecuencia: 50/60 Hz.
 - Máxima capacidad: 150 g.
 - Lectura mínima: 0.001 g
 - Hecha en Estados Unidos

Figura 9. Balanza analítica



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

- Horno con circulación de aire
 - Marca: Cole-Parmer Instrument Company
 - Modelo: 05015 -54
 - Frecuencia: 5/60 Hz.
 - Voltaje: 120 V.
 - Hecho en Estados Unidos

Figura 10. Horno



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

- Desecadora de alimentos
 - Marca: H.A. Büchel A.v.d. Korput
 - Modelo: 45M – 149 v/H
 - Rango de rpm: 69 - 70
 - Hecha en Baarn, Holanda

Figura 11. Desecadora de alimentos



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

- Desecadora con sílica gel

Figura 12. Desecadora



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

3.4.2.4 Reactivos

1. NaCl grado industrial marca Merck
2. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ grado industrial marca Merck
3. Agua desmineralizada marca Salvavidas

3.5 Técnica cualitativa y cuantitativa

En la realización de los ensayos de deshidratación osmótica, se utilizó arveja china (variedad *Pisum sativum L.*) proveniente del altiplano central de Guatemala, específicamente de Santa Apolonia, Chimaltenango, proporcionadas por pequeños agricultores del área, las cuales fueron pre-tratadas con lavado en agua potable y desinfectante (hipoclorito de sodio 5 ppm) y escaldadas en agua caliente a una temperatura de 85°C durante un tiempo de 1 a 2 minutos.

La experimentación de deshidratación osmótica se realizó con soluciones osmodeshidratantes de cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en Erlenmeyer de 100 ml para el proceso de deshidratación osmótica directa y en los respectivos receptores del equipo denominado “deshidratadora de alimentos de atmósfera controlada” para la deshidratación osmótica indirecta; se controló la temperatura y la humedad relativa del ambiente de trabajo mediante un termo-hidrómetro, así como el uso de un cronómetro para el control del tiempo del proceso.

El cálculo de los parámetros: pérdida de peso (WR) y pérdida de agua (WL) se calculan con las siguientes ecuaciones (expresadas en gramos por 100 gramos de producto fresco).

$$\text{WL} = \frac{(\text{Mo} \times \% \text{Ho}) - (\text{Mf} \times \% \text{Hf})}{\text{Mo}} \times 100 \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$\text{WR} = \frac{(\text{Mo} - \text{Mf})}{\text{Mo}} \times 100 \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde

WL = pérdida de agua (%)

WR = pérdida de peso (%)

Mo = peso inicial de la hortaliza (gr)

Mf = peso final de la hortaliza (gr)

Ho = humedad inicial de la hortaliza.

Hf = humedad final de la hortaliza.

Las definiciones de las variables de respuesta son:

Pérdida de peso (WR): Por la diferencia de peso inicial y el tomado inmediatamente después de retirar la muestra de inmersión en cada uno de los tiempos determinados para el proceso.

Pérdida de agua (WL): Por la diferencia de humedad inicial del producto y la tomada después de retirar la muestra de inmersión en cada uno de los tiempos determinados para el proceso.

3.6 Recolección, ordenamiento y tabulación de la información

3.6.1 Etapa I del proceso

3.6.1.1 Análisis químico proximal completo

Se realizará análisis químico proximal de la materia prima seleccionada, Arveja China (*Pisum Sativum L.*) con el fin de establecer el contenido de humedad inicial y de sólidos de las muestras.

3.6.1.2 Selección del modelo

Se utilizó el modelo fenomenológico, el cual relaciona las variables de respuesta como; pérdida de peso (WR), pérdida de agua (WL) y el tiempo con las condiciones operativas a través de relaciones matemáticas. Aspectos fenomenológicos que dependen fuertemente de condiciones de operación, tales como, la temperatura, la relación másica solución-producto y la concentración de la solución con el tipo de soluto que se aplique.

3.6.2 Etapa II del proceso

3.6.2.1 Condiciones de proceso

Para realizar el control del proceso de deshidratación osmótica tanto directa como indirectamente, se tomaron las respectivas lecturas de temperatura y humedad relativa en atmósfera controlada (deshidratación osmótica indirecta) de la arveja china (*Pisum sativum L.*) con el fin de lograr las mismas condiciones de proceso en ambos métodos. Se utilizó un medidor digital de temperatura y humedad relativa (termo-hidrómetro), para establecer los parámetros de control máximos y mínimos del equipo en el equilibrio.

Para el mismo proceso de deshidratación osmótica a presión atmosférica (deshidratación osmótica directa) se utilizaron los parámetros respectivos de control. Para ambos métodos, se incluyeron 20 gramos de muestra en cada montaje en una relación 1:1 con respecto a la solución osmótica la cual contiene un 10% y 20% en relación peso/volumen para cada agente osmodeshidratante a utilizar.

3.6.2.2 Selección de la muestra

Ésta se realizó teniendo en cuenta el grado de madurez, características de tamaño y peso, relativamente homogéneas óptimas para el proceso.

3.6.2.3 Desgranado

Se realizó manualmente separando las vainas del grano (peticua) en la arveja china (*Pisum sativum L.*).

3.6.2.4 Lavado y desinfectado

Inicialmente se realizó un lavado con agua corriente eliminando parte de la carga microbiana, luego se sumergió en una solución de hipoclorito de sodio 5 ppm.

3.6.2.5 Escaldado

La muestra se escaldó colocándola en inmersión de agua a temperatura de 85°C por un tiempo de 1 a 2 minutos previo al proceso de deshidratación.

3.6.2.6 Pesado

Se tomaron 20 gramos de muestra de arveja china (*Pisum sativum L.*) para realizar cada ensayo de deshidratación osmótica.

3.6.2.7 Deshidratación Osmótica

3.6.2.7.1 Deshidratación Osmótica directa

3.6.2.7.1.1 Inmersión

Se realizó la inmersión de la muestra (20g) en la solución osmótica por un tiempo de 3 horas, con toma de muestras para medir las variables de respuesta cada 30 minutos. Se utilizó una relación de producto/solución osmótica de 1:1 para cada montaje.

3.6.2.7.1.2 Lavado y escurrido

Las muestras se sumergieron en agua potable y se escurrieron sobre papel filtro, para eliminar el exceso de humedad, luego de lo cual se procedió a tomar lectura del peso.

3.6.2.7.2 Deshidratación Osmótica indirecta

Las muestras de 20g se colocaron en las cajas de petri respectivas, abiertas, las cuales a su vez estarían en una plataforma por encima de la solución osmótica (como se muestra en la figura 14). Se selló la deshidratadora con el fin de mantener los parámetros de temperatura y humedad relativa en el equilibrio. Se utilizó una relación de producto/solución osmótica de 1:1 para cada montaje con toma de muestras cada 30 minutos por un período de 3 horas.

Figura 13. Montaje de equipo para Deshidratación Osmótica en atmósfera controlada



Fuente: Laboratorio del Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería CII-USAC

3.6.3 Etapa III del proceso

3.6.3.1 Condiciones de proceso para el secado

Luego de obtener los tratamientos óptimos para el producto deshidratado osmóticamente por medio del diseño experimental, se sometió al secado por aire caliente, tanto al producto deshidratado osmóticamente como sin deshidratación osmótica, en un tiempo que permitiera un contenido de humedad final a un valor inferior al 8%, debido a que este es el límite máximo permitido por la EPA (*Environmental Protection Agency*, USA, 1995) para alimentos deshidratados.

3.6.3.1.1 Secado en bandejas con aire caliente

Para el proceso de secado en bandejas con aire caliente se realizó un tratamiento en condiciones constantes de temperatura, velocidad de flujo y humedad relativa del aire tanto para el producto deshidratado osmóticamente como producto sin deshidratación osmótica. Se tomaron en cuenta variables como: peso de entrada y salida y humedad inicial, y variables de respuesta como: humedad de salida y tiempo de secado. La preparación de la arveja china (*Pisum sativum L.*) para el secado en bandejas, fue igual a la descrita anteriormente para el proceso de deshidratación osmótica.

3.6.3.2 Análisis sensorial y de calidad del producto obtenido de los ensayos finales óptimos

Se evaluó su composición, análisis, sensorial y de calidad como se describe a continuación:

3.6.3.2.1 Análisis sensorial

Para el análisis sensorial se realizó una prueba discriminativa de la siguiente manera, mediante el diseño de una boleta de cálculo que contendría:

- Atributo analizado: textura, color, olor, aceptabilidad.
- Tipo de prueba: discriminativa.
- Nombre de la prueba aplicada: apareada simple.
- Número de jueces empleados: 16.
- Método de ensayo: Individual.
- Número de sesiones: 1

3.6.3.2.2 Análisis microbiológico (calidad)

Al finalizar el proceso se realizó un análisis del recuento total de bacterias presentes en la muestra, así como un recuento de mohos y levaduras para verificar la estabilidad microbiológica con fines de futuro almacenamiento, siguiendo las especificaciones dadas por la FDA (*Food and Drugs Administration*).

3.7 Análisis estadístico

3.7.1 Diseño de tratamientos

Para poder realizar una evaluación estadística, se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo combinatorio, en el cual se aplicó un experimento factorial sobre la especie en estudio (arveja china *Pisum sativum* L.) evaluando y utilizando dos metodologías de deshidratación osmótica (M_1 = directa y M_2 = indirecta) con dos agentes osmodeshidratantes (AO_1 = Cloruro

de sodio y AO_2 = Cloruro de calcio di hidratado). Para cada agente osmótico se utilizaron dos concentraciones ($C_1= 10\%$ p/v y $C_2 = 20\%$ p/v).

Se realizaron 4 repeticiones para cada combinación, de modo que el total de ensayos sería igual a $2M \times 2AO \times 2C \times 4$ réplicas = 32 tratamientos. A cada réplica se le realizó un seguimiento de toma de datos cada 30 minutos durante un tiempo establecido por pre-ensayos de 3 horas.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante la información obtenida de la humedad para los 8 tratamientos con cuatro réplicas respectivamente para obtener un arreglo matricial de 32 ensayos, determinando los resultados óptimos. Dichos ensayos se aleatorizaron mediante el uso de una tabla de números aleatorios, permitiendo: (i) la validación del error experimental, (ii) evitar sesgos y (iii) garantizar la independencia de los errores.

Tabla VII. Arreglo matricial

Método	Agente Osmótico	Concentración	Pérdida de peso (WR), Pérdida de humedad (WL)				Total	Promedio
			Repeticiones					
			1	2	3	4		
M1	AO1	C1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_{1,4}$	Y_1	y_1
		C2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_{2,4}$	Y_2	y_2
	AO2	C1	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$Y_{3,4}$	Y_3	y_3
		C2	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	$Y_{4,4}$	Y_4	y_4
						ΣY^*	\bar{y}	
M2	AO1	C1	$Y_{5,1}$	$Y_{5,2}$	$Y_{5,3}$	$Y_{5,4}$	Y_5	y_5
		C2	$Y_{6,1}$	$Y_{6,2}$	$Y_{6,3}$	$Y_{6,4}$	Y_6	y_6
	AO2	C1	$Y_{7,1}$	$Y_{7,2}$	$Y_{7,3}$	$Y_{7,4}$	Y_7	y_7
		C2	$Y_{8,1}$	$Y_{8,2}$	$Y_{8,3}$	$Y_{8,4}$	Y_8	y_8
						ΣY^*	\bar{y}	

Fuente: Referencia 19

Donde:

Y_a = es el total de las observaciones bajo el i-ésimo tratamiento

\bar{y} = es el promedio de las observaciones bajo el i-ésimo tratamiento

Y^* = es la suma de todas las observaciones

Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_1 : Por lo menos dos tratamientos son distintos

Se trabajo con un experimento de tres factores A, B y C (método de deshidratación, agente osmótico y concentración respectivamente). El modelo será:

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

$$y = \mu + \alpha + \beta + \gamma + (\alpha\beta) + (\alpha\gamma) + (\beta\gamma) + (\alpha\beta\gamma) + \epsilon_{ijkl}$$

3.7.2 Criterios de decisión



Si $\{F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}\}$ se rechaza la H_0 , en caso contrario se acepta.

4. RESULTADOS

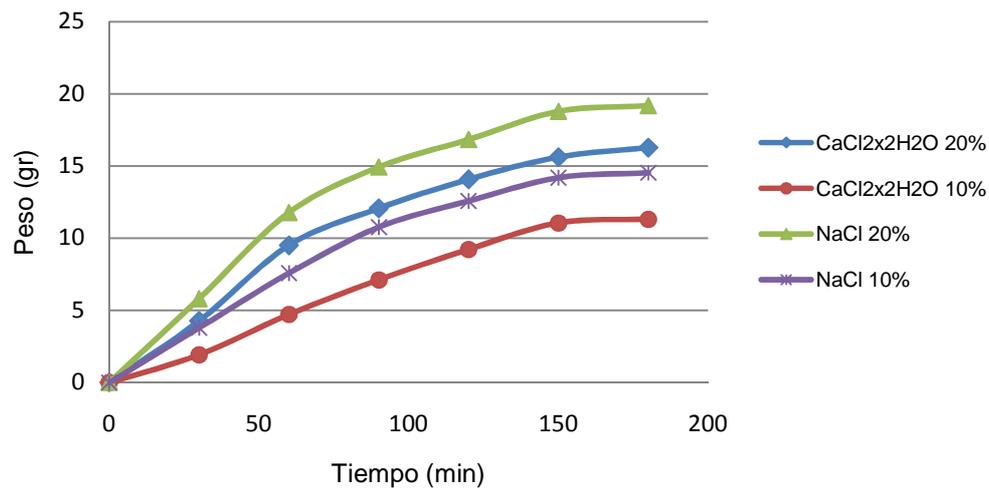
4.1 Pérdida de peso

Tabla VIII. Pérdida de peso (gr/100 gr) mediante DOD y DOI para un tiempo de proceso de 3 horas.

	Deshidratación Osmótica Directa (DOD)				Deshidratación Osmótica Indirecta (DOI)			
	NaCl		CaCl ₂ x2H ₂ O		NaCl		CaCl ₂ x2H ₂ O	
Corrida	C10%	C20%	C10%	C20%	C10%	C20%	C10%	C20%
1	14.694	19.439	11.299	16.337	8.004	13.017	5.571	9.085
2	14.430	19.104	11.199	16.261	8.061	13.025	5.486	9.062
3	14.506	19.031	11.359	16.090	8.066	13.051	5.397	9.051
4	14.493	19.129	11.388	16.440	8.034	12.997	5.417	9.023
Media	14.531	19.176	11.311	16.282	8.041	13.023	5.468	9.055

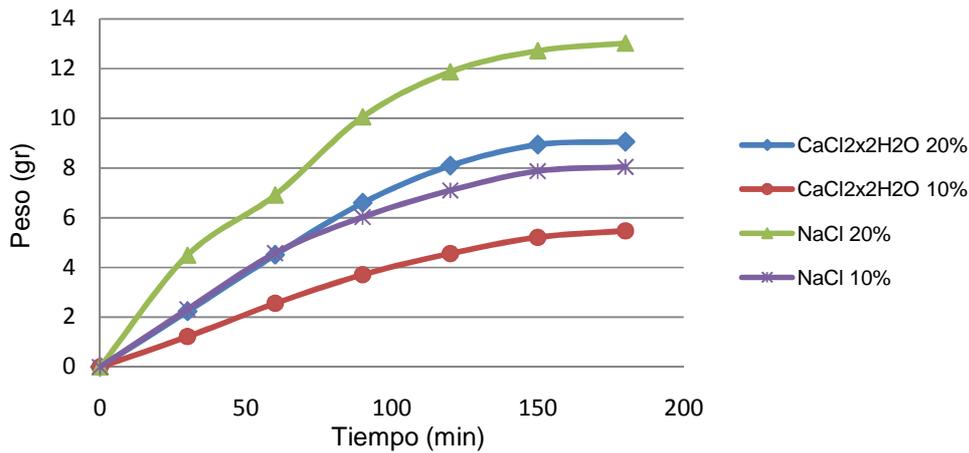
Fuente: Datos tabulados, anexo 3.

Figura 14. Pérdida de peso en el tiempo mediante Deshidratación Osmótica directa



Fuente: Datos tabulados, anexo 3.

Figura 15. Pérdida de peso en el tiempo mediante Deshidratación Osmótica indirecta



Fuente: Datos tabulados, anexo 3.

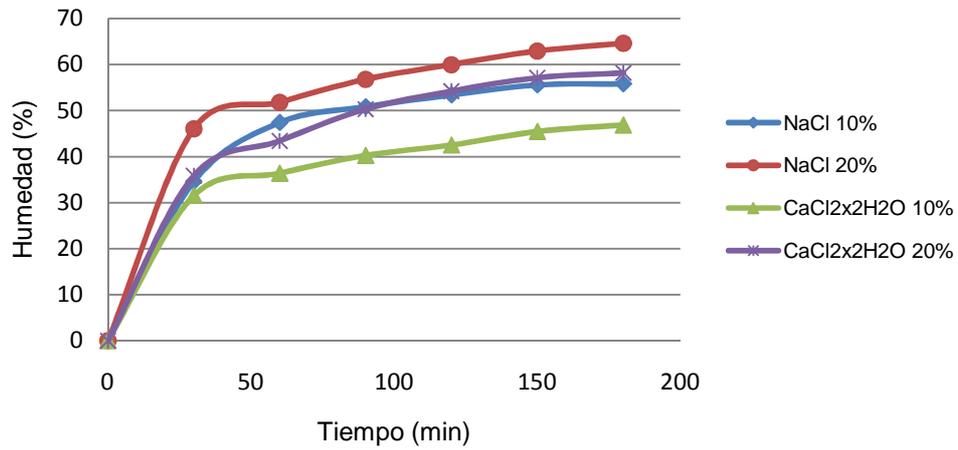
4.2 Pérdida de humedad

Tabla IX. Pérdida de humedad (%) mediante DOD y DOI para un tiempo de proceso de 3 horas.

	Deshidratación Osmótica Directa (DOD)				Deshidratación Osmótica Indirecta (DOI)			
	NaCl		CaCl ₂ x2H ₂ O		NaCl		CaCl ₂ x2H ₂ O	
Corrida	C10%	C20%	C10%	C20%	C10%	C20%	C10%	C20%
1	55.935	64.555	46.865	57.848	45.188	54.569	41.996	50.357
2	55.851	64.489	46.963	58.046	45.265	54.592	42.058	50.323
3	55.784	64.536	46.906	58.050	45.273	54.572	42.071	50.311
4	55.646	64.752	46.815	58.765	45.094	54.507	42.054	50.206
Media	55.804	64.583	46.887	58.177	45.205	54.560	42.045	50.299

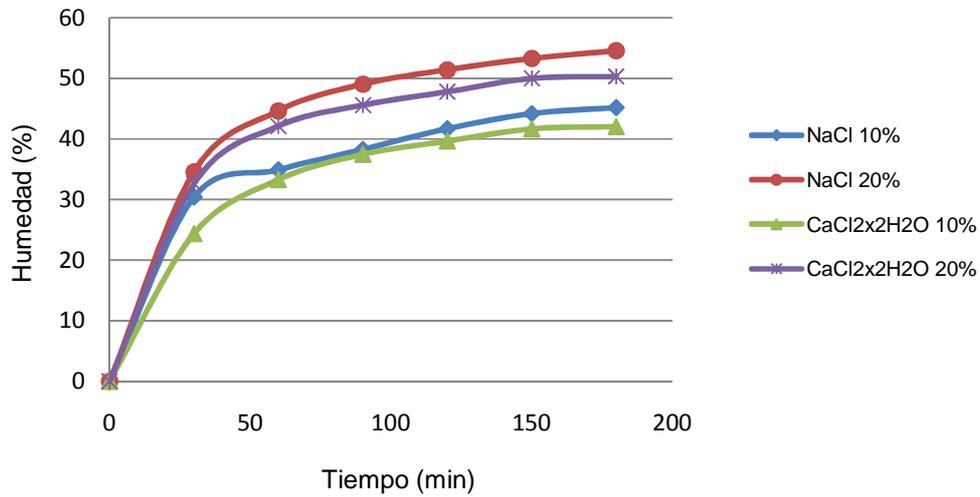
Fuente: Datos tabulados, anexo 3.

Figura 16. Pérdida de humedad en el tiempo mediante Deshidratación Osmótica directa



Fuente: Datos tabulados, anexo 3.

Figura 17. Pérdida de humedad en el tiempo mediante Deshidratación Osmótica indirecta



Fuente: Datos tabulados, anexo 3.

4.3 Análisis de varianza

Tabla X. Análisis de varianza para la pérdida de humedad de la arveja china, utilizando NaCl al 20% mediante DOD.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.15660869	7	0.02237267	8588.97507	3.4237E-39	2.42262853
Dentro de los grupos	6.2516E-05	24	2.6048E-06			
Total	0.1566712	31				

Fuente: Análisis de varianza, anexo 4.

4.4 Análisis sensorial

Tabla XI. Evaluación sensorial de la arveja china deshidratada osmóticamente.

Característica Evaluada/Criterio	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
Me gusta mucho	9	5	11	10	13
Me gusta poco	3	4	2	3	3
No me gusta ni me disgusta	4	7	3	3	0
Me disgusta poco	0	0	0	0	0
Me disgusta mucho	0	0	0	0	0
Total	16	16	16	16	16

Fuente: Análisis sensorial, anexo 2.

Figura 18. Representación (%) de las respuestas obtenidas para la evaluación del color de la arveja china deshidratada osmóticamente.

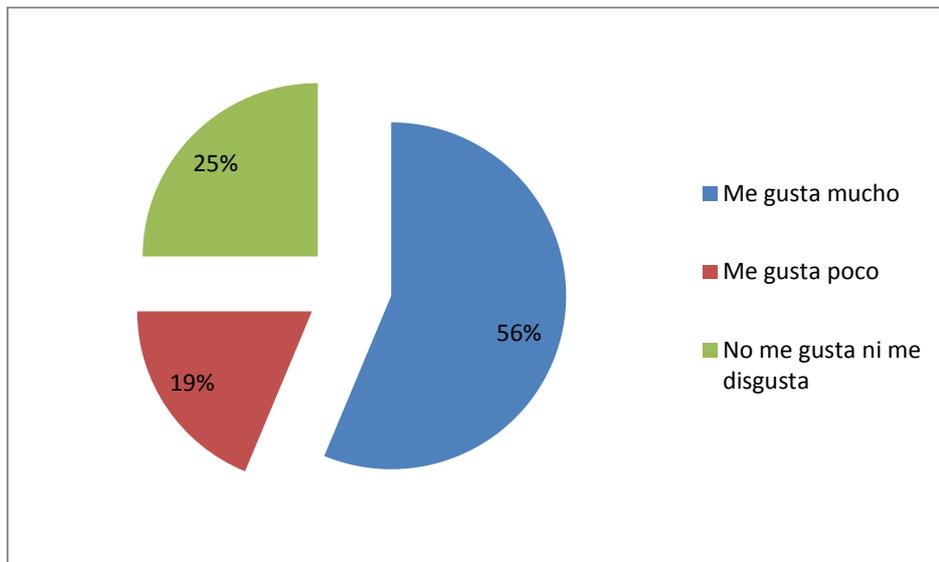


Figura 19. Representación (%) de las respuestas obtenidas para la evaluación del olor de la arveja china deshidratada osmóticamente.

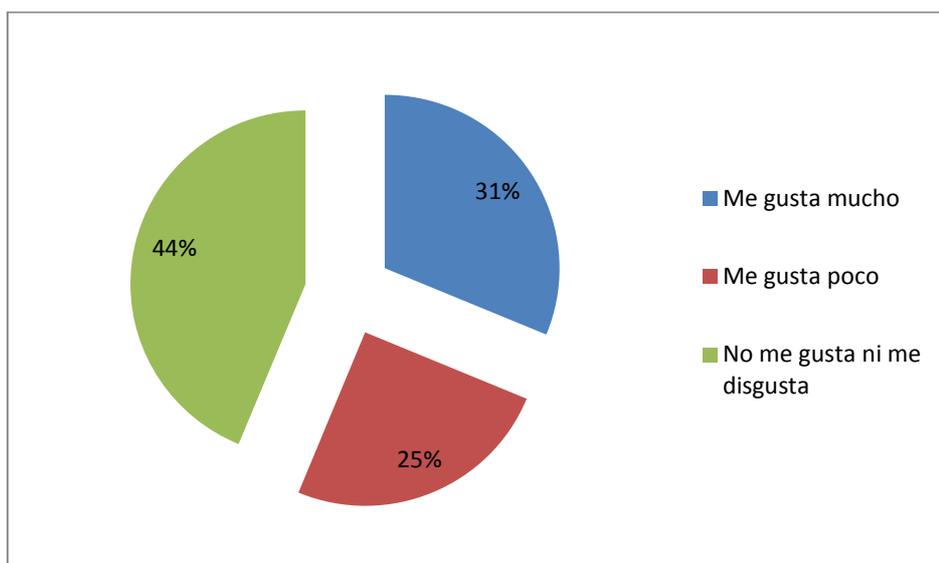


Figura 20. Representación (%) de las respuestas obtenidas para la evaluación del sabor de la arveja china deshidratada osmóticamente.

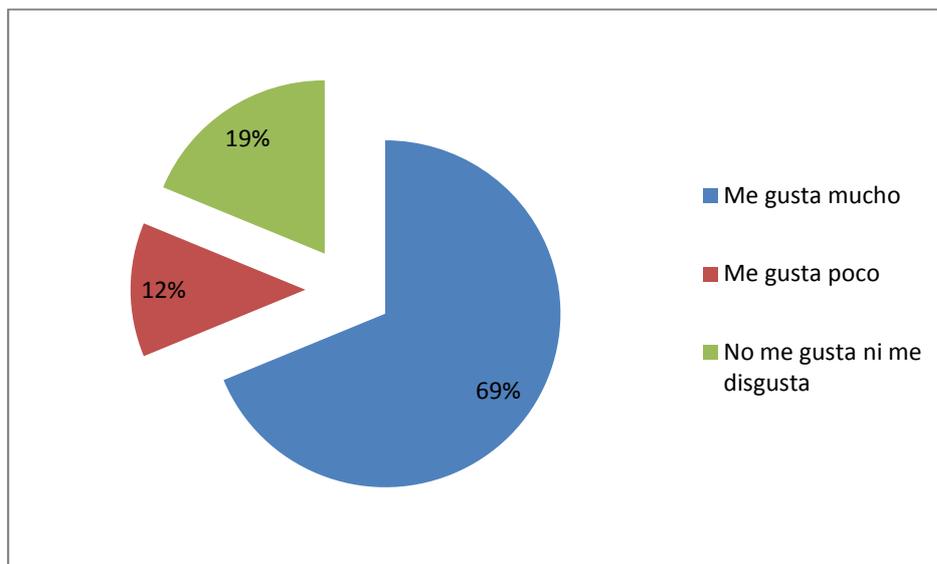


Figura 21. Representación (%) de las respuestas obtenidas para la evaluación de la textura de la arveja china deshidratada osmóticamente.

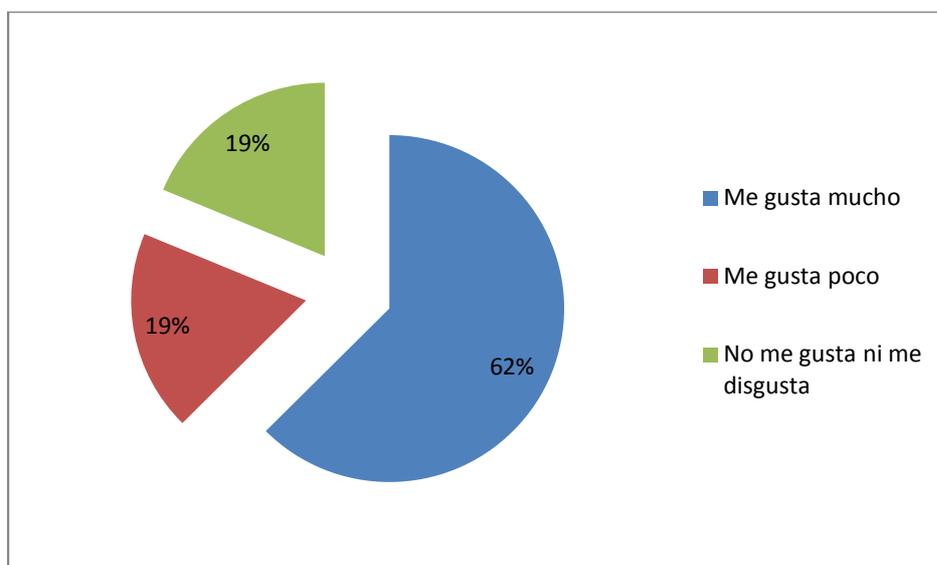
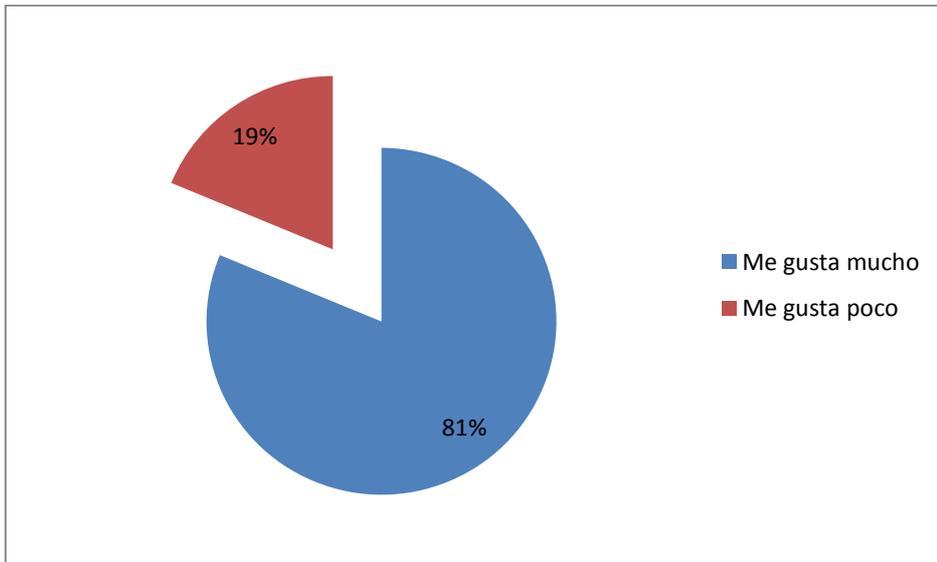


Figura 22. Representación (%) de las respuestas obtenidas para la evaluación de la aceptabilidad de la arveja china deshidratada osmóticamente.



5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados se discuten desde una perspectiva de describir el comportamiento de la arveja china (*Pisum sativum L*) en las mejores condiciones de osmodeshidratación y posterior secado con aire caliente, para verificar la viabilidad técnica de utilizar la DO como un método de conservación de las mismas y su posible utilización a nivel industrial.

5.1 Condiciones generales para la Deshidratación Osmótica

En los procesos donde se utiliza materia prima de origen vegetal, como el caso de esta investigación, es importante considerar las condiciones iniciales de almacenamiento. En el caso particular de este estudio se realizó una inspección preliminar de la maduración de la arveja china a utilizar, pues se necesitó un grado alto de maduración para poder separar manualmente el grano de la vaina; según un estudio realizado por la FAO (1997) en cuanto mayor sea el grado de madurez en frutas y hortalizas, mayor es su porcentaje de humedad.

De una muestra obtenida, se empleó aproximadamente, un 70% del peso total de la arveja china, pues la parte útil para el estudio fue solo el grano, eliminando la vaina de la misma. De los ocho tratamientos realizados, cada uno con cuatro repeticiones, el porcentaje de humedad inicial de la arveja tuvo un promedio de 88%, lo cual estuvo en el rango de humedad aportado por la base teórica 87-90% (INCAP, 1996). Se utilizó arveja china (*Pisum sativum L.*) cultivada con fines de exportación, procedente de pequeños agricultores de Santa Apolonia en el departamento de Chimaltenango, Guatemala. Se eligió

esta variedad de arveja porque Guatemala es uno de los principales exportadores de arveja a nivel mundial con un 13.4 % del total de las exportaciones (AGEXPRONT 2005). Además las características del grano de poseer su propia membrana favorecieron la osmodeshidratación permitiendo una estructura celular rígida que es la más adecuada para el proceso de ósmosis.

Para cumplir el proceso de deshidratación osmótica DO, deben utilizarse soluciones hipertónicas con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento (para el caso de la deshidratación osmótica directa DOD). De manera general en función de los mecanismos de transporte de materia, las variables que afectan el proceso de deshidratación osmótica y que pueden manejarse operativamente son: temperatura del proceso, concentración de la solución osmótica, naturaleza del agente osmótico utilizado, presión y relación masa producto a volumen de solución osmótica.

Las concentraciones a utilizar fueron al 10 y al 20% para cada una de las sales (cloruro de sodio y cloruro de calcio di-hidratado), en relación 1:1 con la muestra. Cuando se utilizan sales en proporciones de peso diferentes se observa que a medida que aumenta la proporción de sal en la mezcla, disminuye la máxima pérdida de agua (WL) y que incluso ésta se produce en un punto intermedio durante el desarrollo de la experiencia (el tiempo disminuye a medida que aumenta la concentración de sal), lo cual no es apto para el proceso de deshidratación del proceso en estudio. La ganancia de agua que ocurre posteriormente se explica por la entrada de solución osmótica a la matriz porosa del vegetal. En base a lo anterior se determinó como tiempo de proceso 3 horas máximo luego del cual, la materia recuperar agua, afectando al proceso de remoción de humedad.

5.2 Deshidratación Osmótica directa

En la tabla VIII se muestra la cantidad de pérdida de peso de la arveja china deshidratada osmóticamente en soluciones de cloruro de sodio y cloruro de calcio di-hidratado al 10 y 20% p/v. El comportamiento de ambas sales tiene una tendencia a la mayor remoción de agua a una concentración de 20% p/v. El experimento realizado con cloruro de sodio al 20% p/v para la DOD es el que presenta las mayores pérdidas de peso con un promedio de 19.17%, en contraparte, el cloruro de calcio di-hidratado al 10% p/v para el mismo proceso (DOD) es el que presenta menos remoción con un promedio de 11.31%. Se puede concluir que mientras más alta es la concentración de la solución de sal mayor es la pérdida de agua y por ende de peso en el alimento. Por otra parte, la velocidad en la remoción del peso es mayor en los primeros 60 min, tal y como se muestra en la figura 14, luego de lo cual hay una disminución hasta el límite de 3 horas (180 min) a partir del cual el alimento empieza a ganar nuevamente humedad, debido a que la migración de agua del alimento hacia la solución disminuyendo la concentración de la misma y por ende la capacidad de remoción.

En la tabla IX se muestra la cantidad de pérdida de humedad de la arveja china deshidratada osmóticamente en soluciones de cloruro de sodio y cloruro de calcio di-hidratado al 10 y 20% p/v. El comportamiento de ambas sales tiene una tendencia a la mayor remoción de agua a una concentración de 20% p/v. El experimento realizado con cloruro de sodio al 20% p/v para la DOD es el que presenta las mayores pérdidas de humedad con un promedio de 64.58%, en contraparte, el cloruro de calcio di-hidratado al 10% para la DOD es el que presenta menor remoción con un promedio de 46.88%. Se puede determinar que mientras más alta es la concentración de la solución de sal mayor es la pérdida de humedad en el alimento. Por otra parte, la figura 16 muestra el

comportamiento en la velocidad de remoción de la humedad, la cual es mayor en los primeros 60 min luego de lo cual hay una clara disminución hasta el límite de 3 horas (180 min) pues el agua que se sale de la fruta diluye la solución osmodeshidratante más rápidamente y por ende la capacidad de remoción.

5.3 Deshidratación Osmótica indirecta

En la tabla VIII se muestra la cantidad de pérdida de peso de la arveja china deshidratada osmóticamente en soluciones de cloruro de sodio y cloruro de calcio di-hidratado al 10 y 20% p/v. El comportamiento de ambas sales tiene una tendencia a la mayor remoción de agua a una concentración de 20% p/v. El experimento realizado con cloruro de sodio al 20% p/v para la DOI es el que presenta las mayores pérdidas de peso con un promedio de 13.02%, en contraparte, el cloruro de calcio di-hidratado al 10% p/v para el mismo proceso (DOI) es el que presenta menos remoción con un promedio de 5.46%. Se puede concluir que mientras más alta es la concentración de la solución de sal mayor es la pérdida de agua y por ende de peso en el alimento. Por otra parte, la velocidad en la remoción del peso es mayor en los primeros 60 min, tal y como se muestra en la figura 15, luego de lo cual hay una disminución hasta el límite de 3 horas (180 min) a partir del cual el alimento empieza a ganar nuevamente humedad, debido a que la migración de agua del alimento hacia la solución disminuyendo la concentración de la misma y por ende la capacidad de remoción.

En la tabla IX se muestra la cantidad de pérdida de humedad de la arveja china deshidratada osmóticamente en soluciones de cloruro de sodio y cloruro de calcio di-hidratado al 10 y 20% p/v. El comportamiento de ambas sales tiene una tendencia a la mayor remoción de agua a una concentración de 20% p/v.

El experimento realizado con cloruro de sodio al 20% p/v para la DOI es el que presenta las mayores pérdidas de humedad con un promedio de 54.56%, en contraparte, el cloruro de calcio di-hidratado al 10% para la DOI es el que presenta menor remoción con un promedio de 42.04%. Se puede determinar que mientras más alta es la concentración de la solución de sal mayor es la pérdida de humedad en el alimento. Por otra parte, la figura 17 muestra el comportamiento en la velocidad de remoción de la humedad, la cual es mayor en los primeros 60 min luego de lo cual hay una clara disminución hasta el límite de 3 horas (180 min) pues el agua que se sale de la fruta diluye la solución osmodeshidratante más rápidamente y por ende la capacidad de remoción.

Se estableció, que el método directo (DOD) utilizando cloruro de sodio (NaCl) al 20% p/v con una relación producto/solución osmodeshidratante de 1:1 y para un tiempo de proceso de 3 horas, como el óptimo para realizar la deshidratación osmótica, pues se obtuvo un valor suficientemente alto para generar una remoción de humedad del 64.58%.

5.4 Análisis de varianza

El diseño para la arveja china arrojó un ANOVA simple, en donde se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, la interacción de los tratamientos es significativa, lo que quiere decir que la pérdida de agua depende de la interacción tanto del método, los agentes osmóticos y la concentración de los mismos. El valor de probabilidad $P = 3.4237E-39$ que aparece en la tabla X indica aquel valor de α a partir del cual el ANOVA no detectaría ninguna diferencia significativa. Así pues, a menor valor de probabilidad mayor seguridad de que existen diferencias significativas.

Como $F_{cal} > F_{tab}$, al menos uno de los 8 ensayos ha producido resultados, los cuales difieren de forma estadísticamente significativa de los otros ensayos, en conclusión, al caer el valor de F_{cal} en la región de rechazo en la cual todas las medias son iguales, se rechaza la hipótesis nula la cual menciona que no existe diferencia significativa en la remoción de agua y en la calidad sensorial de la arveja china (*Pisum sativum L.*), obtenida tanto por deshidratación osmótica directa como indirecta.

5.5 Necesidad de complementar el proceso

La humedad de la arveja china en proceso osmótico fue el factor más importante medido en este estudio, pues este valor determinó la elección del tratamiento posterior. Es necesario reducir el porcentaje de humedad a un valor inferior al 8%, debido a que este es el límite máximo permitido por la EPA (*Environmental Protection Agency, USA, 1995*) para alimentos deshidratados.

En la pruebas realizadas se obtuvo un promedio de 35.45% de humedad después del proceso osmótico utilizando una solución concentrada de NaCl al 20% p/v. Con este porcentaje, el contenido de humedad es lo suficientemente alto para favorecer el crecimiento microbiológico. Para lograr mayor estabilidad es necesario reducir aún más el contenido de humedad hasta un rango entre el 2.5 y el 8%, donde la actividad de agua es menor al 0.6 (ver anexo 1, figura 23) y se inhibe el crecimiento microbiano.

Se utilizó un proceso complementario de secado por medio de un horno de bandejas, bajando el porcentaje de humedad a un promedio de 4%. El secado por medio de calor es el método más utilizado para disminuir el contenido de la humedad del alimento como un proceso complementario en la deshidratación osmótica. En este caso, se empleó un horno de bandejas, y se

obtuvo un producto con buenas características organolépticas (textura, sabor, olor, y color) medidas por un panel no entrenado y utilizando una prueba hedónica de análisis sensorial (anexo 3) para verificar la aceptabilidad de estas características.

Debido a que la elección de la temperatura de secado influye en la textura final del producto, ésta se tomó muy en cuenta. Una elevada temperatura permite aumentar la velocidad de secado, pero conduce a la formación de una costra en la superficie del producto (llamada *case hardening*, en inglés) que impide la extracción de la humedad, y a la vez se obtiene una textura dura. Por otro lado, una temperatura muy baja (menor de 50 °C) aumenta de forma considerable el tiempo de operación aunque no afecta directamente la textura del producto.

Se estableció 65°C como la temperatura de secado a utilizar, tomando como base las investigaciones realizadas por la FAO (1995) donde se sugiere un rango de temperatura entre 65 y 75 °C, dependiendo del tipo de alimento seco.

5.6 Estabilidad y análisis sensorial

5.6.1 Estabilidad

La arveja china tiende a producir, como muchas frutas y hortalizas, reacciones enzimáticas que cambian la apariencia y coloración al ser procesado. Aunque de acuerdo al análisis sensorial realizado, estos cambios no afectaron en mayor medida el producto final, los resultados hubieran variado a una mejora significativa si en el proceso se hubiera utilizado algún antioxidante para evitar en alguna medida el oscurecimiento de ésta.

El crecimiento microbiológico está relacionado con la actividad de agua presente en el alimento, y si la deshidratación se realizó de forma efectiva, se inhibirá el desarrollo de microorganismos, obteniendo un producto estable y confiable para el consumo, aumentando el tiempo de vida al retardar su descomposición.

A la arveja china deshidratada se le realizaron dos análisis microbiológicos: recuento total de bacterias y recuento de mohos y levaduras, para proporcionar los datos suficientes para evaluar la estabilidad en el medio ambiente.

Según la FDA (2004) debe existir menos de 10 unidades formadoras de colonias (UFC) tanto de bacterias como de mohos y levaduras por gramo de producto, para que éste se considere inocuo. En ambas pruebas realizadas se obtuvo valores inferiores a 10 UFC/g (ver apéndice 4, tabla XIII), lo que significa que no se detectó crecimiento microbiano, ni de mohos o levaduras en las muestras analizadas.

5.6.2 Análisis sensorial

Para el análisis sensorial se seleccionó un panel no entrenado de 16 personas, comprendidos entre las edades de 22 a 30 años de edad; donde se les pidió que evaluaran el olor, color, sabor, textura y aceptabilidad general utilizando una prueba hedónica con escala de 1 – 5 que va desde me disgusta mucho hasta me gusta mucho (ver anexo 3, Tabla XII). Se les explicó el tipo de muestra que iba a ser analizada (arveja china deshidratada), entregándoles a cada uno una porción promedio de 10g de arveja china, procesada a las mismas condiciones y con las mismas características.

En cuanto al color, al 56% de los panelistas la muestra les gustó mucho, el 19%, que les gustó poco y el 25%, que no les gustó ni les disgustó; estos resultados pueden interpretarse como una mediana preferencia del color de la arveja china.

En cuanto al olor, hubo comentarios durante la prueba de no sentir un olor intenso o perceptible. El 31% de los panelistas contestó que les gustaba mucho; el 25%, que les gustaba poco y el 44%, que no les gustaba ni les disgustaba. Estos resultados indican una preferencia en su mayoría neutral, con respecto a la percepción del olor de la arveja china deshidratada.

Al considerar el sabor el 69% de los panelistas les gustó mucho; al 12% les gustó poco y el 19% no les gustó ni les disgustó. Estos datos indican una aceptación alta del sabor de la arveja china deshidratada por parte de los panelistas.

El 62% de los panelistas expresó una preferencia alta en cuanto a la textura, al contestar que les gustaba mucho. El 19% una preferencia intermedia contestando que les gustaba poco y el 19% una preferencia neutral indicando que no les gustaba ni les disgustaba; en conclusión, la textura de la arveja china fue bien aceptada entre los panelistas.

En cuanto a la aceptabilidad general, hubo sólo dos respuestas indicando el 81% una preferencia total (al contestar “me gusta mucho”) y el 19% una preferencia intermedia (al contestar “me gusta poco”). Por tanto, puede considerarse que la arveja china deshidratada osmóticamente tiene buenas características organolépticas y una aceptabilidad general bastante alta entre las personas.

CONCLUSIONES

1. Las condiciones óptimas para ambos métodos, deshidratación osmótica directa e indirecta, fueron: Tiempo de proceso de 3 horas, relación salmuera/materia prima de 1:1, concentración de la solución 20% y como agente osmótico NaCl.
2. Al utilizar una solución concentrada de cloruro de sodio (NaCl) al 20% para el proceso de deshidratación osmótica directa de la arveja china (*Pisum sativum L.*), se obtuvo una remoción promedio de humedad del 64.58%, determinándose este como el agente osmótico óptimo entre los propuestos.
3. El porcentaje promedio de humedad obtenido después del proceso osmótico fue de 35.45%, por eso se complementó el proceso utilizando un secador de bandejas operado a 65°C por tres horas, hasta llegar a un porcentaje inferior al 8 %, límite aceptado por la EPA (*Environmental Protection Agency, USA, 1995*) y por la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) para alimentos deshidratados.
4. El 81% de las personas que formaron parte del panel de análisis sensorial expresó una alta aceptabilidad y el 19% una aceptabilidad intermedia, al evaluar la arveja china deshidratada osmóticamente por el método definido.

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas a gran escala de la deshidratación osmótica de la arveja china (*Pisum sativum L.*), utilizando los parámetros establecidos en este trabajo para que dicho proceso opere satisfactoriamente tanto a pequeña como a gran escala.
2. Investigar posibles sustitutos de los agentes osmóticos, tales como glicerol; entre otros, para verificar la influencia del agente osmótico en el sabor del producto.
3. Elaborar un estudio de mercado en donde se determine el segmento de mercado específico para la arveja china deshidratada osmóticamente y el precio que el consumidor está dispuesto a pagar por dicho producto.
4. Evaluar la posible exportación de la arveja china deshidratada osmóticamente, a países con mayores niveles de importación como Francia, el Reino Unido, Estados Unidos y Canadá.
5. Realizar un análisis químico de los nutrientes de la arveja china deshidratada osmóticamente con base a este estudio, para determinar el valor nutricional de dicho producto y su comparación con arveja china fresca sin deshidratar.
6. Utilizar el método de Deshidratación Osmótica de la arveja china (*Pisum sativum L.*) como base para realizar otras pruebas con otras variedades de hortalizas y frutas.

7. Realizar investigaciones para la posible utilización del remanente de las soluciones osmodeshidratantes.
8. Evaluar en el agro la cantidad de arveja china disponible en Guatemala, para determinar el volumen de producción a nivel de producto deshidratado.
9. Realizar un análisis económico del método propuesto para la deshidratación osmótica de la arveja china (*Pisum sativum L.*) a nivel industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar H., Medlicott C. **Los beneficios y el uso de la tecnología de postcosecha**. Informe FHIA. Honduras, 1993.
2. Baker, C (Ed.), **Industrial Drying of Foods** (Secado Industrial de Alimentos) Chemical Engineering Department. London Blackie Academic And Professional. 1997.
3. Bran, L. E. **Diseño de un secador de bandejas atmosférico para el laboratorio de operaciones unitarias** Tesis Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
4. Brown. LeMay. Bursten. (1993) **Química, la ciencia central** (5ta ed) Prentice Hall. México.
5. Domínguez, R. (1990) **Taxonomía Stresiptera e Himenóptera, claves y diagnosis**. México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola. v.3, p. 104-105.
6. Garcia Chiu, E. (1992) **Manejo racional de plagas en arveja china**. Guatemala, Proyecto MIP, ICTA, CATIE, ARF. 20 p.
7. Glass, P. **Manual para Educación Agropecuaria: Elaboración de frutas y hortalizas**. Trillas, Venezuela, 1997.

8. Ibarz, A. Barbosa-Cánovas, G. **Unit Operations in Food Engineering** (Operaciones unitarias en ingeniería en alimentos) CRC PRESS. Nueva York. 2003.
9. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. ICAITI. (1976) **Guía para exportación de productos no tradicionales: Mango.**
10. Lemus, J. (1999) **Perfil de una planta deshidratadora de mango** Tesis Universidad del Valle de Guatemala.
11. McCabe, W. Smith, J. Harriot, P. (2002) **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química** (6ta. ed.) McGraw-Hill. México.
12. Mircea Enachescu, D. (1995) **Fruit an vegetable processing** (Procesamiento de frutas y vegetales). Boletín No. 119 Servicios Agricultores de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Roma.
13. Pinto, C. (1994) **Producción, caracterización y utilización de zapote deshidratado por ósmosis y aire caliente** Tesis Universidad del Valle de Guatemala.
14. Pointing, JD. ; Watters, GG. Forrey, R.R.; Jackson, R.; Stanley, W.L. (1966) **Osmotic Dehydration of Fruits** (Deshidratación osmótica de frutas). Food Technology.
15. Rojas, L. (1976) **Deshidratación osmótica de frutas tropicales, complementado con secado por horno de aire forzado y horno al vacío.** Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala.

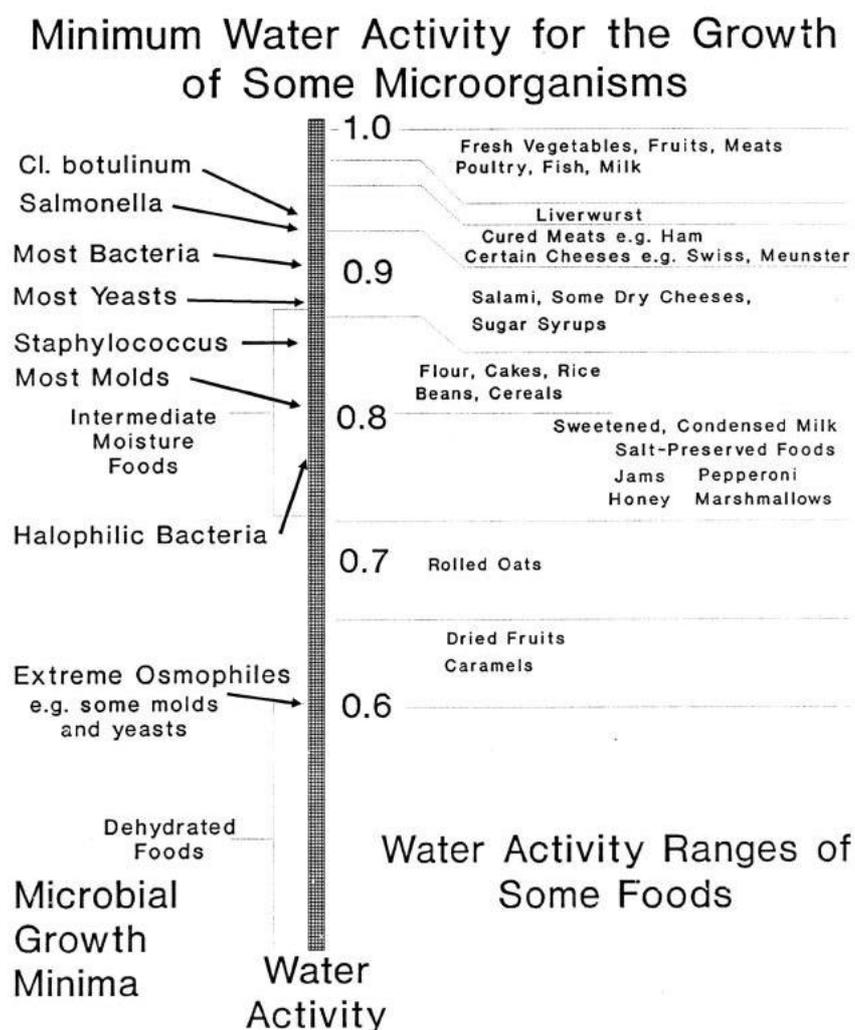
16. Roltz, J. (1997) **Empleo de un diseño experimental para optimizar el secado de banano por ósmosis**. Tesis Universidad Rafael Landívar.
17. Treybal, R. (2000) **Operaciones de transferencia de masa**. (2da ed.) McGraw-Hill. México.
18. Vega-Mercado, H. Barbosa-Cánovas, G. (1996) **Dehydration of foods** (Deshidratación de alimentos). Chapman & Hall ITP International Thomson Publishing.
19. Walpole, Ronald, **Probabilidad y estadística para ingenieros**. Sexta edición, Editorial Pearson Educación, México 1999, 463-468 pp,
20. Watts, BM. Ylimaki, GL. Jeffery, LE. Elías, LG. (1992) **Métodos básicos para la evaluación de alimentos**. International Development Research Centre.
21. Wittig de Penna, E. (1992) **Evaluación sensorial: una metodología actual para tecnología de alimentos** Talleres Gráficos. USACH. Chile.
22. Food and Drug Administration (FDA), (2004) **Bacteriological Analytical Manual (BAM)** (Manual Bacteriológico y Analítico). Centro para sanidad alimenticia y nutrición aplicada. EUA. (En red) Disponible en: <http://vm.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-toc.html> (junio 2009).
23. Foro Internacional (2003) **Mercados de frutas tropicales sostenibles, oportunidades de negocio en Europa y en Estados Unidos**. Lima, Perú. (En red) Disponible en: http://www.prompex.gob.pe/prompex/Inf_Sectoria.pdf (junio 2009).

24. Infoagro (2004) **El cultivo del Mango.** (En red) Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm (mayo 2009).
25. Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Colombia (ICTA), (2002) Curso en línea: **“Transformación y Conservación de Frutas”** (En red) Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos.htm>
26. Quezada, I C. (2002) **Deshidratación, jugoso negocio.** Universidad Politécnica de Guadalajara. (En red) Disponible en: <http://www.soyentrepreneur.com/pagina.hts> (julio 2009).
27. Soto, P. G. (2002) **Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales.** (En red) Disponible en: <http://eclipse.red.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/sepoct02/DESHIDRACION.PDF> (mayo 2009).

ANEXOS

Anexo 1

Figura 23. Cantidad mínima de agua para el crecimiento de microorganismos en alimentos



(Fuente: FAO, boletín No. 119, 2002)

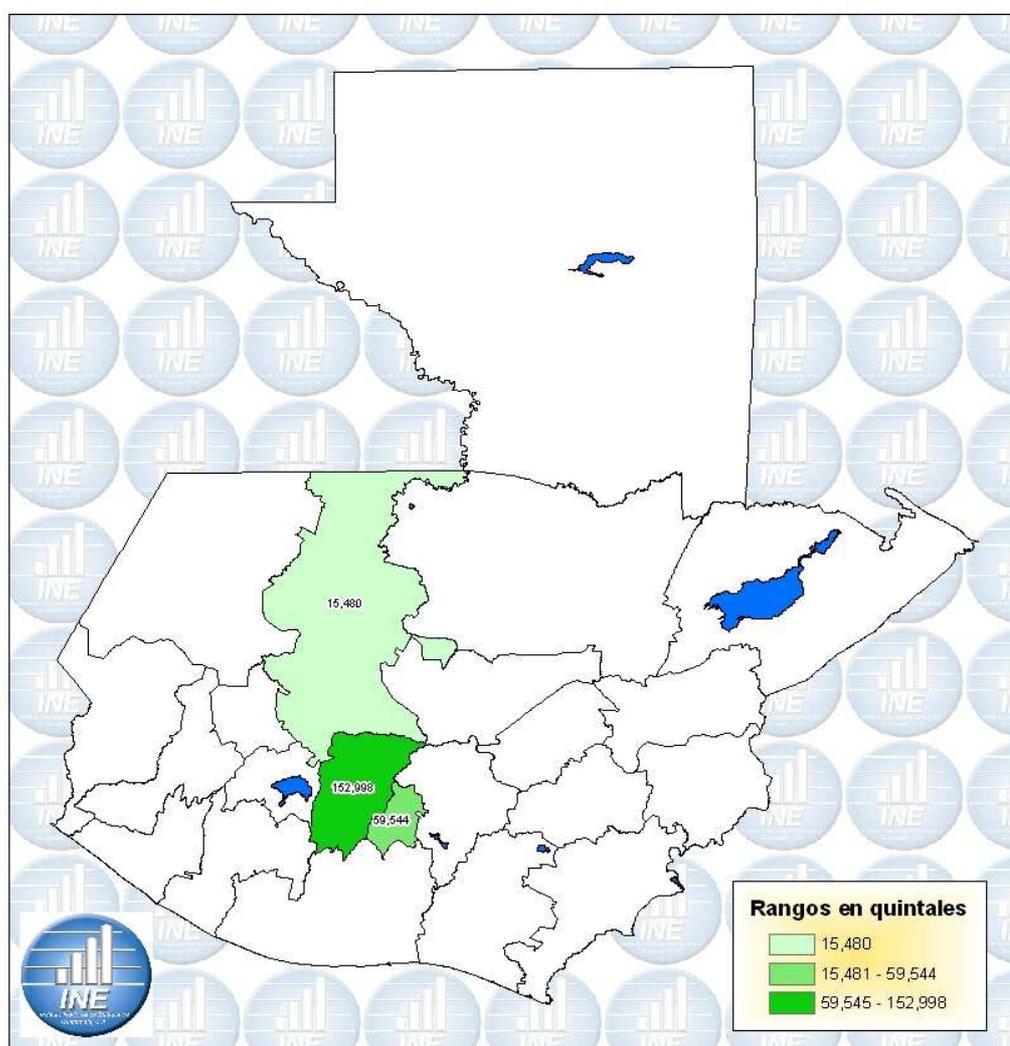
Anexo 2

Figura 24. Pronóstico de producción de arveja china

ARVEJA CHINA

Pronóstico de producción, mayo - octubre 2007.

Encuesta Nacional Agropecuaria 2007
Instituto Nacional de Estadística



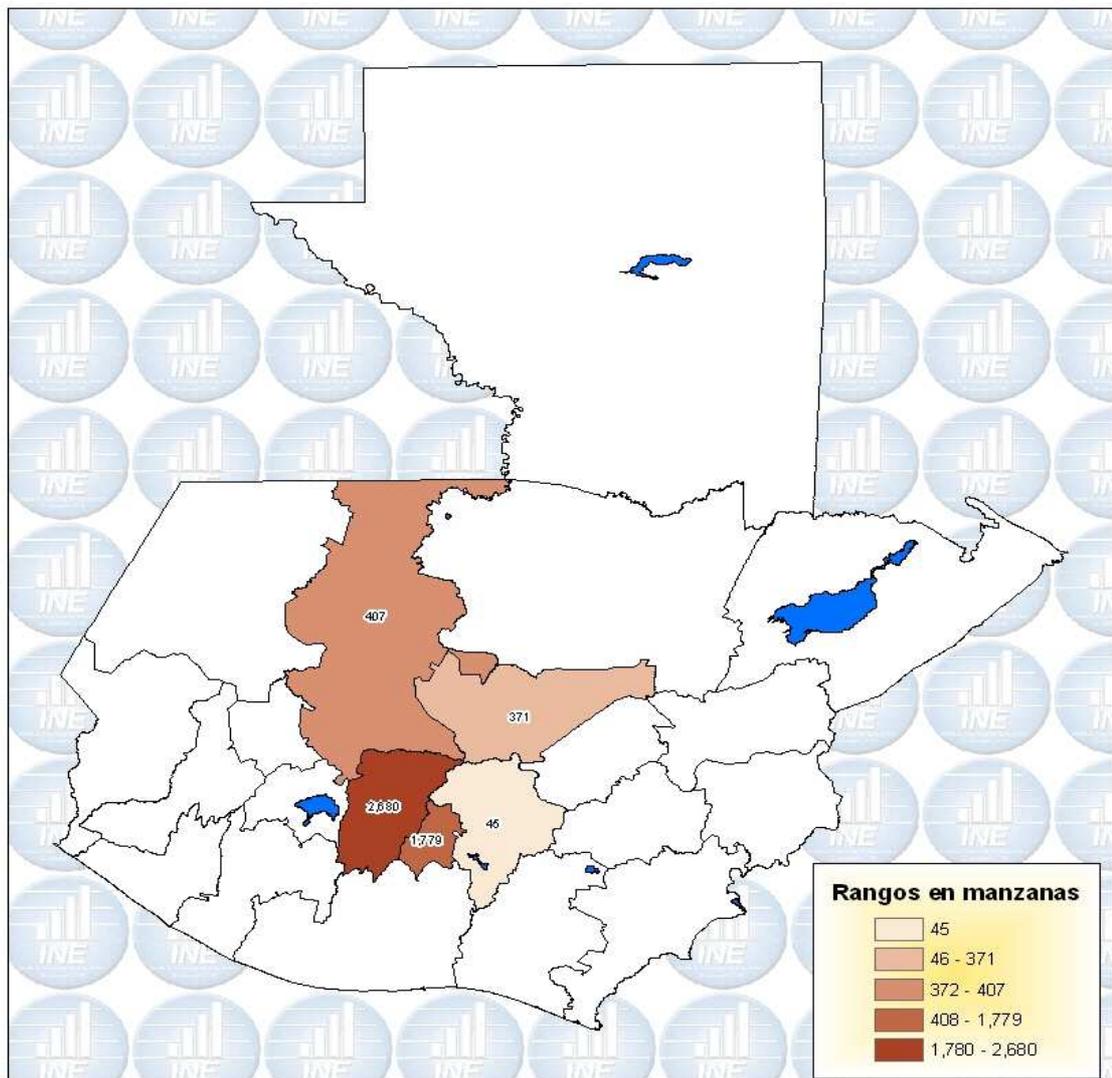
Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE.

Figura 25. Superficie cosechada de arveja china

ARVEJA CHINA

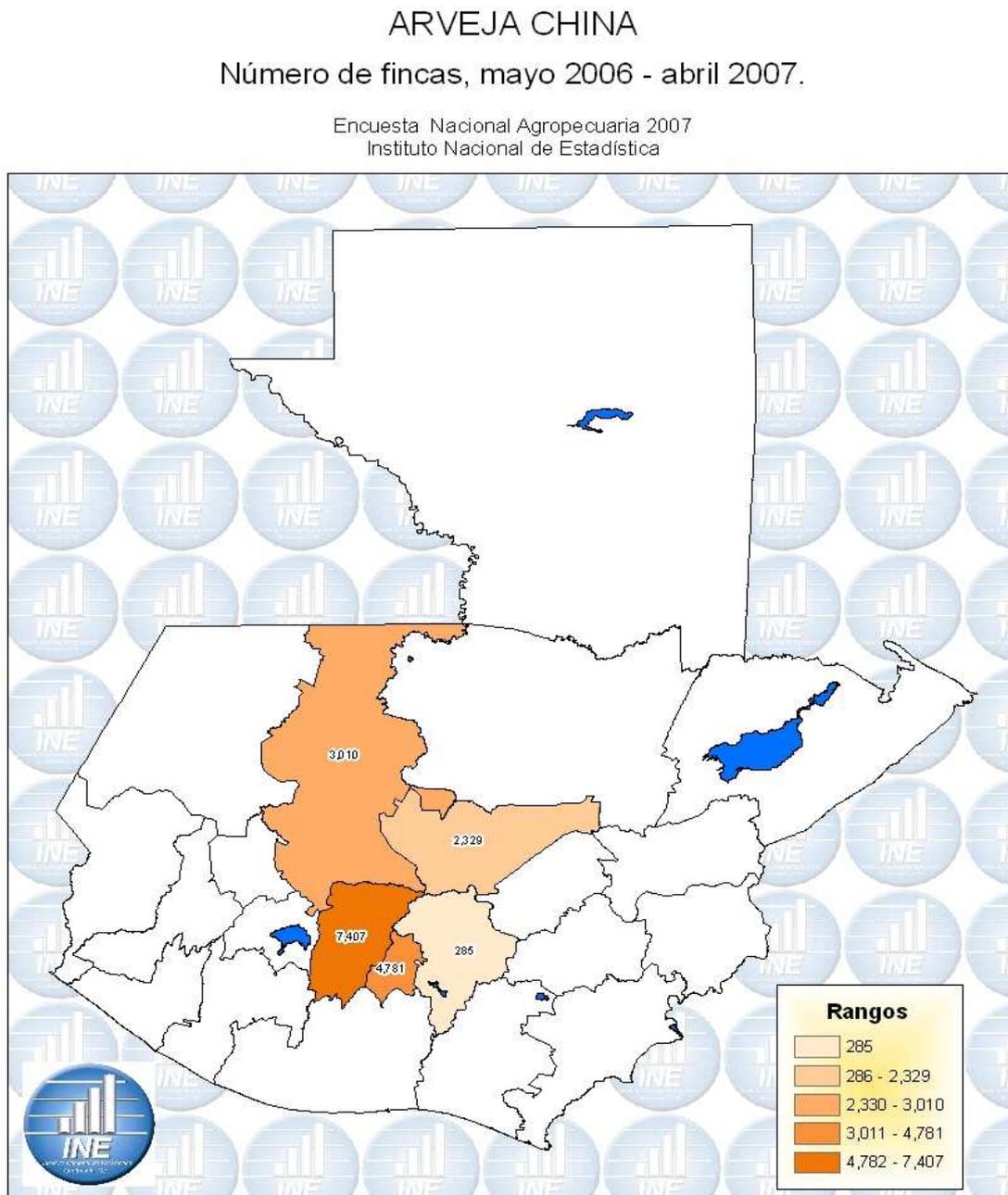
Superficie cosechada, mayo 2006 - abril 2007.

Encuesta Nacional Agropecuaria 2007
Instituto Nacional de Estadística



Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE.

Figura 26. Número de fincas de producción de arveja china



Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE.

Anexo 3

Fecha: _____

Sexo: F M

Edad: _____

Hoja de análisis sensorial

Instrucciones:

A continuación se le dará una muestra de Arveja China (*Pisum sativum L.*) deshidratada, la cual deberá degustar y aportar su calificación entre 1 y 5 sobre las siguientes características. Por favor utilice el vaso con agua para aclarar su paladar entre las pruebas realizadas.

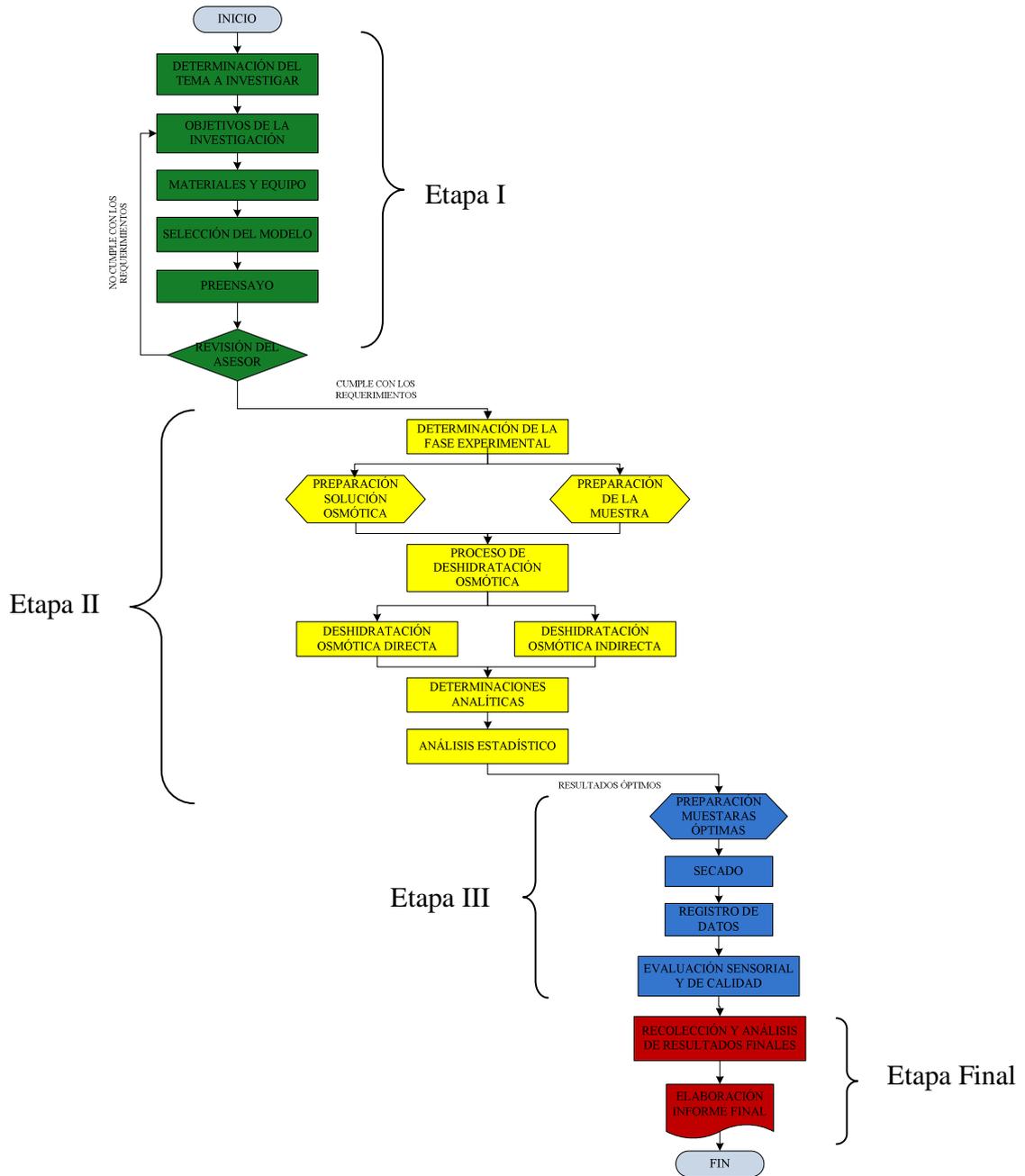
Tabla XII. Análisis Sensorial

	Me disgusta mucho	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta mucho
Color	1	2	3	4	5
Olor	1	2	3	4	5
Sabor	1	2	3	4	5
Textura	1	2	3	4	5
Aceptabilidad General	1	2	3	4	5

La prueba hedónica consiste en elegir la aceptabilidad de un producto, en base a características organolépticas como el olor, el color, el sabor y la textura. No es necesario utilizar personas entrenadas, pues no se requieren diferencias específicas en sabor u olor, sino simplemente la percepción que se tiene del producto a analizar.

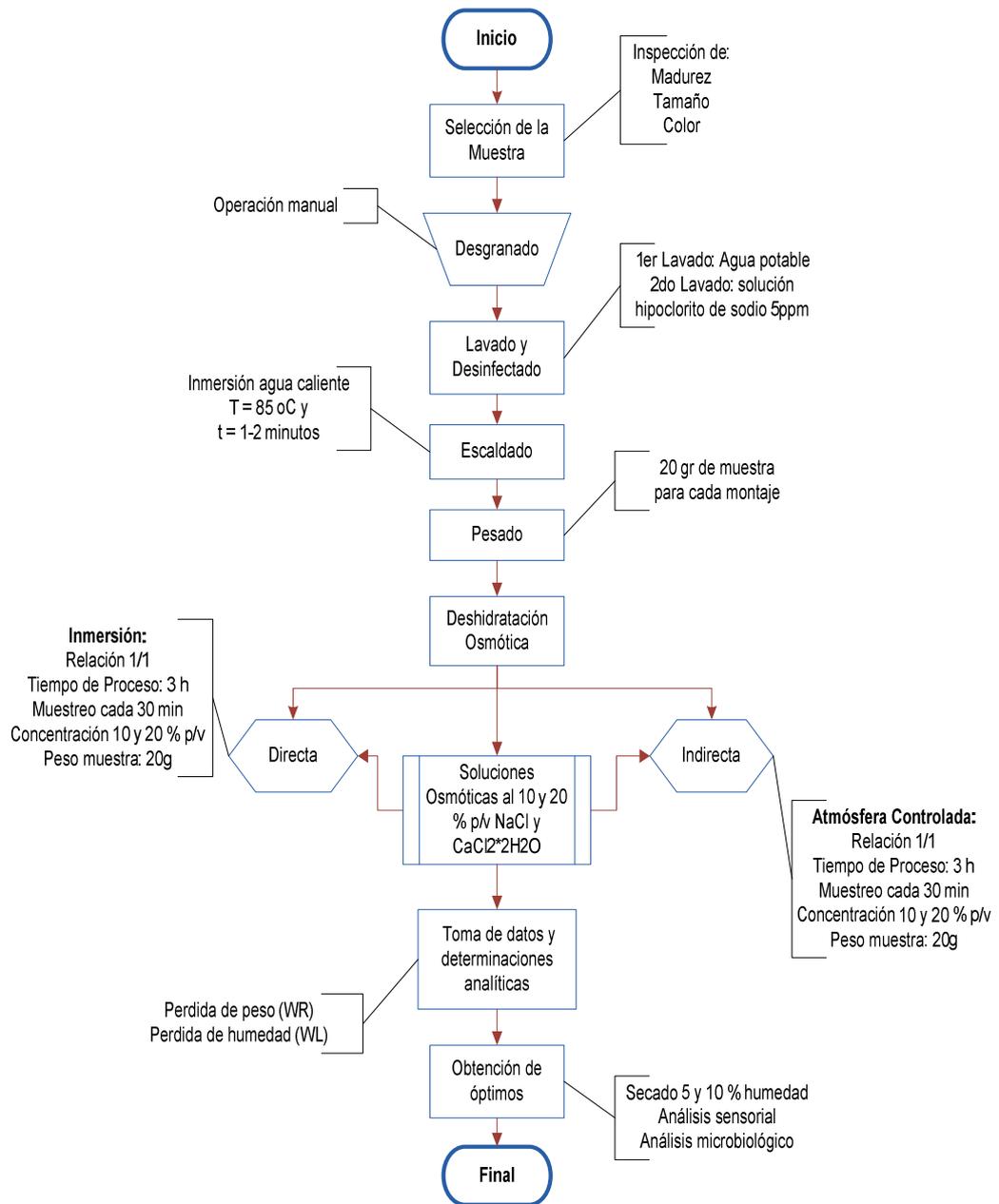
Apéndice 2

Figura 28. Flujograma del desarrollo de la investigación



Apéndice 3

Figura 29. Flujograma del desarrollo del proceso



Apéndice 4

Tabla XIII. Análisis microbiológico de la arveja china

Método	Tiempo (h)	Recuento Total de Bacterias (UFC/ml)	Recuento de Mohos y Levaduras (UFC/ml)
DO	Muestra 24	< 10	< 10
	Muestra 48	< 10	< 10
	Muestra 72	< 10	< 10
DO + secado	Muestra 24	< 10	< 10
	Muestra 48	< 10	< 10
	Muestra 72	< 10	< 10

Fuente: Laboratorio de Microbiología USAC.

Apéndice 5

Datos Tabulados

Tabla XIV. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 10% DOD

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.195	19.421	0.774	3.833	13.153	65.300	34.700
60	20.426	18.806	1.620	7.931	10.602	52.512	47.488
90	20.189	18.004	2.185	10.823	9.893	49.386	50.614
120	20.068	17.552	2.516	12.537	9.391	46.654	53.346
150	20.237	17.338	2.899	14.325	8.919	44.499	55.501
180	20.178	17.213	2.965	14.694	8.868	44.065	55.935

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.326	19.596	0.730	3.591	13.123	65.326	34.674
60	20.048	18.489	1.559	7.776	10.547	52.686	47.314
90	20.323	18.072	2.251	11.076	9.889	49.138	50.862
120	20.206	17.648	2.558	12.660	9.406	46.716	53.284
150	20.132	17.298	2.834	14.077	8.878	44.293	55.707
180	20.132	17.227	2.905	14.430	8.856	44.149	55.851

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.089	19.312	0.777	3.868	13.182	65.237	34.763
60	20.387	18.893	1.494	7.328	10.557	52.751	47.249

90	20.115	18.007	2.108	10.480	9.894	49.045	50.955
120	20.008	17.508	2.500	12.495	9.408	46.551	53.449
150	20.098	17.251	2.847	14.166	8.921	44.444	55.556
180	20.150	17.227	2.923	14.506	8.850	44.216	55.784

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.215	19.436	0.779	3.854	13.173	65.763	34.237
60	20.057	18.604	1.453	7.244	10.572	52.522	47.478
90	20.232	18.072	2.160	10.676	9.912	49.133	50.867
120	20.125	17.589	2.536	12.601	9.408	46.547	53.453
150	20.045	17.199	2.846	14.198	8.963	44.515	55.485
180	20.072	17.163	2.909	14.493	8.890	44.354	55.646

Tabla XV. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 20% DOD

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.143	18.970	1.173	5.823	10.976	54.350	45.650
60	20.189	17.776	2.413	11.952	10.070	49.300	50.700
90	20.031	17.034	2.997	14.962	8.727	43.227	56.773
120	20.129	16.768	3.361	16.697	7.840	39.067	60.933
150	20.044	16.308	3.736	18.639	7.376	36.448	63.552
180	20.125	16.213	3.912	19.439	7.152	35.445	64.555

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.089	18.896	1.193	5.939	10.957	53.906	46.094
60	20.019	17.689	2.330	11.639	9.666	48.214	51.786
90	20.126	17.142	2.984	14.827	9.026	44.413	55.587
120	20.135	16.768	3.367	16.722	8.262	40.889	59.111
150	20.043	16.298	3.745	18.685	7.428	36.896	63.104

180	20.059	16.227	3.832	19.104	7.149	35.511	64.489
-----	--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.206	18.995	1.211	5.993	10.687	53.198	46.802
60	20.012	17.683	2.329	11.638	9.633	47.251	52.749
90	20.174	17.209	2.965	14.697	8.444	41.979	58.021
120	20.211	16.787	3.424	16.941	7.891	39.439	60.561
150	20.073	16.287	3.786	18.861	7.472	37.178	62.822
180	20.015	16.206	3.809	19.031	7.146	35.464	64.536

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.031	18.935	1.096	5.472	10.984	54.336	45.664
60	20.129	17.743	2.386	11.854	9.653	48.128	51.872
90	20.174	17.105	3.069	15.213	8.743	43.214	56.786
120	20.211	16.783	3.428	16.961	8.185	40.671	59.329
150	20.135	16.321	3.814	18.942	7.580	37.815	62.185
180	20.043	16.209	3.834	19.129	7.075	35.248	64.752

Tabla XVI. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en concentración del 10% DOD

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.068	19.674	0.394	1.963	13.766	68.196	31.804
60	20.247	19.286	0.961	4.746	12.829	63.835	36.165
90	20.247	18.804	1.443	7.127	12.027	59.649	40.351
120	20.029	18.168	1.861	9.292	11.624	57.596	42.404
150	20.315	18.080	2.235	11.002	10.930	54.373	45.627
180	20.082	17.813	2.269	11.299	10.678	53.135	46.865

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.170	19.806	0.364	1.805	13.960	68.935	31.065
60	20.141	19.199	0.942	4.677	12.813	63.487	36.513
90	20.231	18.782	1.449	7.162	12.068	59.935	40.065
120	20.163	18.298	1.865	9.250	11.555	57.706	42.294
150	20.184	17.961	2.223	11.014	10.947	54.384	45.616
180	20.029	17.786	2.243	11.199	10.721	53.037	46.963

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.231	19.831	0.400	1.977	13.871	68.192	31.808
60	20.141	19.193	0.948	4.707	12.819	63.703	36.297
90	20.247	18.822	1.425	7.038	12.078	59.486	40.514
120	20.029	18.187	1.842	9.197	11.502	57.389	42.611
150	20.163	17.931	2.232	11.070	10.946	54.517	45.483
180	20.231	17.933	2.298	11.359	10.675	53.094	46.906

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.063	19.674	0.389	1.939	13.834	68.353	31.647
60	20.195	19.246	0.949	4.699	12.694	63.264	36.736
90	20.142	18.704	1.438	7.139	12.015	59.827	40.173
120	20.231	18.381	1.850	9.144	11.550	57.136	42.864
150	20.141	17.900	2.241	11.127	11.010	54.727	45.273
180	20.170	17.873	2.297	11.388	10.812	53.185	46.815

Tabla XVII. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ al 20% DOD

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
--------------	-------------------	------------------------	----------------------	---------------------	----------------------	--------------------------	------------------------

0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.186	19.332	0.854	4.231	12.850	64.032	35.968
60	20.097	18.296	1.801	8.962	11.354	56.077	43.923
90	20.163	17.764	2.399	11.898	10.069	49.731	50.269
120	20.182	17.352	2.830	14.022	9.214	46.003	53.997
150	20.102	16.938	3.164	15.740	8.773	43.185	56.815
180	20.096	16.813	3.283	16.337	8.465	42.152	57.848

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.251	19.396	0.855	4.222	12.987	64.388	35.612
60	20.182	18.289	1.893	9.380	11.349	56.348	43.652
90	20.135	17.676	2.459	12.213	9.946	49.162	50.838
120	20.024	17.217	2.807	14.018	9.218	45.717	54.283
150	20.129	16.980	3.149	15.644	8.641	42.811	57.189
180	20.214	16.927	3.287	16.261	8.403	41.954	58.046

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.341	19.469	0.872	4.287	12.889	63.709	36.291
60	20.123	18.125	1.998	9.929	11.437	56.785	43.215
90	20.304	17.831	2.473	12.180	9.997	49.375	50.625
120	20.042	17.195	2.847	14.205	9.155	45.709	54.291
150	20.078	16.951	3.127	15.574	8.618	42.742	57.258
180	20.106	16.871	3.235	16.090	8.487	41.950	58.050

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.239	19.366	0.873	4.313	12.945	64.522	35.478
60	20.065	18.104	1.961	9.773	11.539	57.138	42.862
90	20.083	17.672	2.411	12.005	10.165	50.467	49.533
120	20.215	17.369	2.846	14.079	9.246	45.702	54.298
150	20.118	16.990	3.128	15.548	8.619	42.793	57.207

180	20.329	16.986	3.343	16.444	8.317	41.235	58.765
-----	--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------

Tabla XVIII. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 10% DOI

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.146	19.721	0.425	2.110	14.016	69.572	30.428
60	20.504	19.506	0.998	4.867	13.428	65.490	34.510
90	20.295	19.004	1.291	6.361	12.627	62.217	37.783
120	20.209	18.752	1.457	7.210	11.487	57.854	42.146
150	20.237	18.638	1.599	7.901	11.166	55.450	44.550
180	20.178	18.563	1.615	8.004	11.060	54.812	45.188

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.487	19.882	0.605	2.953	14.147	69.054	30.946
60	20.209	19.357	0.852	4.216	13.166	65.149	34.851
90	20.563	19.304	1.259	6.123	12.739	61.951	38.049
120	20.387	18.892	1.495	7.333	11.936	58.547	41.453
150	20.261	18.642	1.619	7.991	11.286	55.703	44.297
180	20.232	18.601	1.631	8.061	11.074	54.735	45.265

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.162	19.732	0.430	2.133	14.102	69.943	30.057
60	20.497	19.578	0.919	4.484	13.344	65.102	34.898
90	20.285	19.102	1.183	5.832	12.423	61.242	38.758
120	20.153	18.749	1.404	6.967	11.743	58.269	41.731
150	20.201	18.621	1.580	7.821	11.296	55.918	44.082
180	20.246	18.613	1.633	8.066	11.080	54.727	45.273

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.239	19.817	0.422	2.085	14.111	69.722	30.278
60	20.212	19.257	0.955	4.725	13.061	64.620	35.380
90	20.423	19.242	1.181	5.783	12.538	61.392	38.608
120	20.255	18.863	1.392	6.872	11.846	58.484	41.516
150	20.105	18.545	1.560	7.759	11.279	56.100	43.900
180	20.089	18.475	1.614	8.034	11.030	54.906	45.094

Tabla XIX. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante NaCl en concentración del 20% DOI

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.149	19.721	0.428	2.124	13.253	65.143	34.857
60	20.421	19.506	0.915	4.481	11.175	55.039	44.961
90	20.255	18.845	1.410	6.961	10.516	51.853	48.147
120	20.183	18.552	1.631	8.081	9.736	48.472	51.528
150	20.239	18.431	1.808	8.933	9.342	46.481	53.519
180	20.198	18.363	1.835	9.085	9.125	45.431	54.569

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.289	19.783	0.506	2.494	13.161	65.598	34.402
60	20.368	19.467	0.901	4.424	11.155	55.294	44.706
90	20.296	18.987	1.309	6.450	10.256	50.816	49.184
120	20.335	18.691	1.644	8.085	9.712	48.306	51.694
150	20.279	18.463	1.816	8.955	9.451	46.714	53.286
180	20.205	18.374	1.831	9.062	9.087	45.408	54.592

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.289	19.783	0.506	2.494	13.161	65.598	34.402
60	20.368	19.467	0.901	4.424	11.155	55.294	44.706
90	20.296	18.987	1.309	6.450	10.256	50.816	49.184
120	20.335	18.691	1.644	8.085	9.712	48.306	51.694
150	20.279	18.463	1.816	8.955	9.451	46.714	53.286
180	20.205	18.374	1.831	9.062	9.087	45.408	54.592

0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.238	19.815	0.423	2.090	13.225	65.716	34.284
60	20.510	19.571	0.939	4.578	11.275	55.234	44.766
90	20.343	19.007	1.336	6.567	10.195	50.697	49.303
120	20.271	18.599	1.672	8.248	10.053	48.761	51.239
150	20.328	18.501	1.827	8.988	9.448	46.957	53.043
180	20.286	18.450	1.836	9.051	9.124	45.428	54.572

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.050	19.602	0.448	2.234	13.836	65.164	34.836
60	20.332	19.406	0.926	4.554	11.205	55.850	44.150
90	20.237	18.938	1.299	6.419	10.174	50.440	49.560
120	20.126	18.522	1.604	7.970	9.806	48.775	51.225
150	20.193	18.399	1.794	8.884	9.407	46.728	53.272
180	20.215	18.391	1.824	9.023	9.145	45.493	54.507

Tabla XX. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en concentración del 10% DOI

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	21.233	20.991	0.242	1.140	15.204	75.458	24.542
60	20.063	19.536	0.527	2.627	13.627	66.728	33.272
90	20.170	19.439	0.731	3.624	12.643	62.422	37.578
120	20.105	19.212	0.893	4.442	12.127	60.083	39.917
150	20.132	19.088	1.044	5.186	11.819	58.398	41.602
180	20.102	19.013	1.089	5.417	11.716	58.004	41.996

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.344	20.091	0.253	1.244	15.340	75.605	24.395
60	20.304	19.796	0.508	2.502	13.579	66.666	33.334

90	20.281	19.534	0.747	3.683	12.699	62.567	37.433
120	20.086	19.163	0.923	4.595	12.256	60.270	39.730
150	20.099	19.008	1.091	5.428	11.833	58.349	41.651
180	20.085	18.966	1.119	5.571	11.707	57.942	42.058

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.063	19.796	0.267	1.331	15.290	75.551	24.449
60	20.174	19.655	0.519	2.573	13.675	66.676	33.324
90	20.183	19.432	0.751	3.721	12.729	62.571	37.429
120	20.106	19.181	0.925	4.601	12.241	60.386	39.614
150	20.231	19.198	1.033	5.106	11.825	58.171	41.829
180	20.013	18.915	1.098	5.486	11.751	57.929	42.071

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.124	19.892	0.232	1.153	15.197	75.793	24.207
60	20.413	19.898	0.515	2.523	13.568	66.733	33.267
90	20.109	19.346	0.763	3.794	12.658	62.548	37.452
120	20.617	19.671	0.946	4.588	12.200	60.616	39.384
150	20.121	19.091	1.030	5.119	11.795	58.414	41.586
180	20.085	19.001	1.084	5.397	11.714	57.946	42.054

Tabla XXI. Cálculos de control para la pérdida de peso, utilizando como agente osmodeshidratante $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en concentración del 20% DOI

Corrida # 1

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.302	19.421	0.881	4.339	13.651	67.239	32.761
60	20.192	18.806	1.386	6.864	11.648	57.687	42.313
90	20.001	18.004	1.997	9.985	10.966	54.829	45.171
120	20.116	17.752	2.364	11.752	10.535	52.369	47.631
150	20.154	17.599	2.555	12.677	10.054	49.884	50.116

180	20.135	17.514	2.621	13.017	9.996	49.643	50.357
-----	--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------

Corrida # 2

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.093	19.263	0.830	4.131	13.608	67.726	32.274
60	20.029	18.667	1.362	6.800	11.617	58.000	42.000
90	20.228	18.172	2.056	10.164	10.993	54.344	45.656
120	20.127	17.748	2.379	11.820	10.532	52.328	47.672
150	20.001	17.466	2.535	12.674	10.024	50.120	49.880
180	20.345	17.695	2.650	13.025	10.107	49.677	50.323

Corrida # 3

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.321	19.312	1.009	4.965	13.662	67.229	32.771
60	20.002	18.605	1.397	6.984	11.618	58.085	41.915
90	20.234	18.201	2.033	10.047	10.991	54.319	45.681
120	20.221	17.807	2.414	11.938	10.505	51.953	48.047
150	20.141	17.585	2.556	12.691	10.070	49.999	50.001
180	20.075	17.455	2.620	13.051	9.975	49.689	50.311

Corrida # 4

Tiempo (min)	Peso muestra (gr)	Peso en el tiempo (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso (%)	Pérdida de peso (gr)	Contenido de humedad (%)	Pérdida de humedad (%)
0	-	-	-	-	-	88.000	-
30	20.261	19.339	0.922	4.551	13.634	67.291	32.709
60	20.220	18.804	1.416	7.003	11.674	57.733	42.267
90	20.368	18.323	2.045	10.040	11.022	54.114	45.886
120	20.147	17.736	2.411	11.967	10.509	52.163	47.837
150	20.419	17.799	2.620	12.831	10.208	49.995	50.005
180	20.127	17.511	2.616	12.997	10.022	49.794	50.206

Apéndice 6

Cálculos para la determinación de los análisis de varianza –ANOVA– aplicados al proceso de Deshidratación Osmótica de la arveja china

Tabla XXII. Análisis de Varianza –ANOVA–

				Repeticiones			
				R1	R2	R3	R4
Arveja China	DOD	NaCl	C1	0.55935	0.55851	0.55784	0.55646
			C2	0.64555	0.64489	0.64536	0.64752
		CaCl ₂ x2H ₂ O	C1	0.46865	0.46963	0.46906	0.46815
			C2	0.57848	0.58046	0.58050	0.58765
	DOI	NaCl	C1	0.45188	0.45265	0.45273	0.45094
			C2	0.54569	0.54592	0.54572	0.54507
		CaCl ₂ x2H ₂ O	C1	0.41996	0.42058	0.42071	0.42054
			C2	0.50357	0.50323	0.50311	0.50206

Media Aritmética	Varianza	Suma Gi	Sum Gi ²
0.55804	1.4911E-06	2.23216	4.982538266
0.64583	1.3463E-06	2.58332	6.673542222
0.4688725	3.9349E-07	1.87549	3.51746274
0.5817725	1.6242E-05	2.32709	5.415347868
0.45205	6.9447E-07	1.8082	3.26958724
0.5456	1.3527E-07	2.1824	4.76286976
0.4204475	1.1089E-07	1.68179	2.828417604
0.5029925	4.2443E-07	2.01197	4.048023281

Filas = i = tratamientos
 Columnas = j = observaciones
 Cantidad de grupos = a = 8
 Filas por grupo = b = 4

Cuadrado de Xij			
0.312872423	0.31193342	0.31118547	0.309647732
0.416734803	0.41588311	0.41648953	0.41928215
0.219632823	0.22055234	0.22001728	0.219164423
0.33463911	0.33693381	0.33698025	0.345332523
0.204195534	0.20489202	0.20496445	0.203346884
0.297777576	0.29802865	0.29781032	0.297101305

H = 8.717838558
 SCe = 0.156608687
 SCtotal = 0.156671203
 SCd = 6.25155E-05
 GLe = 7
 GLd = 24

0.176366402	0.17688754	0.1769969	0.176853892
0.253582745	0.25324043	0.25311967	0.252064244

CMe = 0.02237267

CMd = 2.60481E-06

Fuente: Elaborado por Rubén Sierra.

F calc = **8588.97507**

$F_{0.05} (7, 24) = \mathbf{2.42262853}$

OBSERVACION: el F calculado experimentalmente es mayor que el F tabulado, por lo tanto hay diferencia significativa entre al menos un par de grupos

Gran media = 0.52195063

CVd = 0.31

CVe = 28.7

ISm = 0.28656918

Criterio de decisión



Si $\{F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}\}$ se rechaza la H_0 , en caso contrario se acepta.