



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EVALUACIÓN SENSORIAL DE SOPA DE HUITLACOCHÉ
ELABORADA A PARTIR DEL PRODUCTO DESHIDRATADO

TESIS

QUE COMO REQUISISTO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

AGROALIMENTARIA

PRESENTA:

JANET CABRERA MEZA



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

JULIO, 2009

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO.



BIBLIOTECA AGROINDUSTRIAL UACH.

**EVALUACIÓN SENSORIAL DE SOPA DE HUITLACOCHÉ
ELABORADA A PARTIR DEL PRODUCTO DESHIDRATADO**

Tesis realizada por **Janet Cabrera Meza** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN:
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

DIRECTOR:


DR. TEODORO ESPINOSA SOLARES

ASESOR:


DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES

ASESOR:


DR. ELEAZAR AGUIRRE MANDUJANO

ASESOR:


M. en C. CARLOS OROZCO ALVÁREZ

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la más grande de todas las riquezas: mi formación profesional.

A la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por las enseñanzas y el apoyo recibido durante mi estancia.

Al CONACyT por apoyar el proyecto 8250855 "Producción controlada e intensiva de huitlacoche (*Ustilago maydis* D.C. Corda) y alternativas para su manejo en poscosecha", así como por el financiamiento otorgado durante mis estudios de maestría.

Al Dr. Teodoro Espinosa Solares por darme la oportunidad de formar parte de este proyecto, por el aprendizaje y sugerencias brindadas para la culminación del presente.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por las acertadas sugerencias durante la realización y revisión del presente trabajo.

Al M. en C. Carlos Orozco Álvarez y al Laboratorio de Bioseparaciones perteneciente al Departamento de Bioingeniería de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) del Instituto Politécnico Nacional por la atención y facilidades brindadas durante mi estancia.

Al Dr. Marcelo Acosta Ramos por su valioso apoyo y asesoría.

A la Profesora Rosa María Córdoba Ángeles por su amistad y buenos consejos.

A Gerardo, Ayne, Jorge, Dora, Estanislao, Elvia, Michael, Fabiola y Armando; quienes conformaron el Panel Sensorial durante la realización del Análisis Descriptivo Cuantitativo; por su tiempo, trabajo y amistad; pero sobre todo por la disciplina y entusiasmo mostrado.

Al personal encargado de Laboratorios por su amistad y apoyo; especialmente a Don Leo; Doña Vicky, Don Toño, Don Miguel y a Doris por hacer de esos momentos de trabajo un espacio lleno de armonía y aprendizaje.

A la Escuela Secundaria Oficial ubicada en la comunidad de Cuautempan, Puebla, a la Dirección General de Regulación Comercial del Municipio de Texcoco y a la Subdirección de Servicios Asistenciales de la UACH por el permiso y facilidades otorgadas durante la realización de la prueba sensorial.

Al Q.F.B. Adalberto Gómez Cruz así como al I.Q.B. Félix Esparza Torres por permitirme realizar las pruebas microbiológicas y de secado en los Laboratorios de Microbiología y Control de Calidad.

A Graciela, Briza, Gerardo y Eli por su apoyo y amistad, muchas gracias por todo.

A los chicos de la generación 2007-2009 del Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria.

DEDICATORIAS

A mi hijo por la espera y paciencia; por ser mi gran inspiración y mi principal motivo.

A mi esposo Jesús por sus palabras, apoyo y cariño en los buenos y malos momentos.

A mis padres por el invaluable apoyo, amor, enseñanzas y palabras de aliento para la culminación de esta meta y del presente documento.

A mis hermanos por la dicha de tenerlos como tales, por compartir su amistad y afecto.

A mis compañeros de Maestría por los dos años de convivencia y aprendizaje.

A mis amigos por su buena vibra y amistad. Especialmente a Nabor, Isabel, Leticia, Pamela, Jovane, Graciela, Briz y Gerardo.

A todas aquellas personas que directa e indirectamente me permitieron mejorar en el aspecto personal y profesional.

DATOS BIOGRÁFICOS

Janet Cabrera Meza, autor de la presente tesis nació en la ciudad de Puebla, Puebla, el 24 de agosto de 1982. En el 2000 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo; curso propedéutico posteriormente en el 2001 inicio sus estudios de Licenciatura titulándose como Ingeniero Agroindustrial en Noviembre del 2005. En el 2006 ingresa a la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria para realizar estudios de Posgrado. Ha colaborado en trabajos referentes al área de Microbiología, Evaluación Sensorial y Deshidratación siendo este último el tema de tesis para la obtención del presente grado.

EVALUACIÓN SENSORIAL DE SOPA DE HUITLACOCHÉ
ELABORADA A PARTIR DEL PRODUCTO DESHIDRATADO

SENSORY EVALUATION OF HUITLACOCHÉ
SOUP PREPARED FROM DEHYDRATED PRODUCT

JANET CABRERA MEZA

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

(Bajo la dirección de T. Espinosa Solares)

RESUMEN

ABSTRACT

Con la finalidad de ofrecer alternativas para alargar la vida de anaquel del huitlacoche, se obtuvo el producto deshidratado, a partir del cual se elaboró una sopa. El secado se realizó a 70 ± 2 °C y se caracterizó a través de la cinética de secado y cambios de pH y color. La estabilidad del producto se evaluó con ayuda de las isothermas de sorción y análisis microbiológicos. La sopa con producto deshidratado se comparó sensorialmente con una elaborada con huitlacoche fresco. El proceso de secado ocurrió mayormente en el periodo de velocidad de secado decreciente. El pH del huitlacoche se mantuvo estable durante casi todo el proceso de secado; mientras que los parámetros de color se modificaron. El crecimiento de microorganismos se presentó en producto con actividad de agua mayor a 0.6; encontrándose principalmente la presencia de *Aspergillus sp.* y *Penicillium sp.* Las sopas de huitlacoche fresco y deshidratado fueron percibidas diferentes, la proporción de personas que detectaron diferencia resultó mayor del 30%. La sopa de producto deshidratado presentó sensorialmente un menor aroma y sabor característico del huitlacoche guisado. Las cuentas de mesófilos aerobios y coliformes en el producto se encontraron dentro de límites aceptables.

As an alternative to increase the shelf life of huitlacoche, the dehydrated product was obtained, from which a soup was made. Drying took place at 70 ± 2 °C and was characterized by drying kinetics and pH and color changes. Product stability was evaluated using sorption isotherms and microbiological analysis. The soup prepared with dehydrated product was sensory compared with one made with fresh huitlacoche. The drying process took place mainly during the decreasing drying period. The huitlacoche pH remained constant during almost the entire drying process, while color parameters changed. Microbial growth was observed at water activity values higher than 0.6, with *Aspergillus sp.* and *Penicillium sp.* being the principal contaminants found. The fresh and dehydrated huitlacoche soups were perceived differently. The proportion of people that detected differences was more than 30%. The soup made from dehydrated product presented, from the sensory point of view, a lesser aroma and flavor characteristic of huitlacoche stew. The aerobic mesophilic and coliform microorganisms in the product were within the acceptable limits.

Palabras clave: Cinética de secado, Isothermas, a_w , Análisis Descriptivo Cuantitativo.

Key words: Drying kinetics, isotherms, a_w , quantitative descriptive analysis.

INDICE

	Pág
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIAS	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	vii
INDICE	viii
INDICE DE CUADROS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Huitlacoche	3
2.1.1 Origen	4
2.1.2. Nombres comunes	4
2.1.3. Producción	5
2.1.4. Composición química y valor nutritivo	6
2.1.5. Importancia económica y usos	9
2.1.6. Principales usos del huitlacoche	10
2.1.7. Importancia industrial	11
2.2. Conservación de alimentos	12
2.3. Métodos de conservación	12
2.3.1. <i>Procesamiento térmico</i>	12
2.3.2. <i>Congelación y refrigeración</i>	12
2.3.3. <i>Atmósferas modificadas y controladas</i>	13
2.3.4. <i>Radiación</i>	14
2.3.5. <i>Liofilización</i>	14
2.3.6. <i>Deshidratación</i>	14
2.3.6.1. <i>Ventajas de la deshidratación</i>	15
	viii

2.3.6.2. Desventajas de la deshidratación.....	16
2.4. El agua en los alimentos	16
2.5. Definición de actividad de agua.....	18
2.5.1. Importancia práctica de la a_w	19
2.6. Condiciones generales de secado	22
2.7. Periodos de secado.....	25
2.7.1. Periodo de precalentamiento.....	26
2.7.2. Periodo de velocidad de desecación constante	26
2.7.2.1. Humedad crítica	28
2.7.3. Período de velocidad decreciente	29
2.7.4. Segundo período de velocidad decreciente, o período de velocidad final	30
2.8. Sistemas de deshidratación	30
2.9. Secadores	31
2.10. Isotermas de adsorción y desorción.....	32
2.10.1. Región de monocapa	34
2.10.2. Región de multicapas.....	35
2.10.3. Región de condensación capilar	35
2.11. Histéresis.....	39
2.12. Definición del valor de monocapa	39
2.13. Métodos de obtención de isotermas de sorción	40
2.13.1. Métodos gravimétricos	40
2.13.2. Métodos manométricos	40
2.13.3. Métodos especiales.....	41
2.14. Clasificación de isotermas y modelos matemáticos para su ajuste	41
2.15. Rehidratación de alimentos	45
2.16. Color.....	45
2.17. Importancia del análisis sensorial.....	47
2.17.1. Definición de Evaluación Sensorial	49
2.17.2. Pruebas discriminativas.....	50
2.17.2.1. Prueba triangular	52

2.17.3 Prueba de similaridad	52
2.17.4. Pruebas secuenciales	52
2.17.5. Análisis Descriptivo	53
2.17.6. Prueba de aceptabilidad global	56
2.18. Análisis Microbiológico	57
2.18.1. Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias	58
2.18.2 Cuenta de organismos coliformes	59
2.18.3. Cuenta de microorganismos coliformes fecales	60
III. MATERIALES Y MÉTODOS	61
3.1. Estrategia experimental	61
3.2. Material Experimental	62
3.3. Deshidratación de huitlacoche	63
3.3.2. Cinética de secado	64
3.3.3. Medición de pH y color durante el proceso de secado	66
3.3.4. Medición del pH	69
3.3.5. Medición del color	69
3.4. Prueba de vida de anaquel del producto deshidratado	72
3.5. Isotermas de desorción	74
3.5.1. Cálculo del valor de monocapa	75
3.5.2. Modelado de las isotermas de desorción mediante las ecuaciones de GAB y Peleg	76
3.6. Isotermas de adsorción	77
3.6.1. Método para medir actividad acuosa	79
3.7. Análisis microbiológico	81
3.8. Huitlacoche Deshidratado	84
3.8.1. Rehidratación del huitlacoche deshidratado	84
3.9. Elaboración de sopa de huitlacoche	85
3.10. Análisis Sensorial	88
3.10.1. Prueba de similaridad	88
3.10.2. Análisis secuencial	88
3.10.3. Análisis Descriptivo	89

3.10.3.1. <i>Panel Descriptivo</i>	89
3.10.4. Medición de atributos fisicoquímicos en sopas de huitlacoche	92
3.10.4.1. <i>Acidez titulable</i>	92
3.10.4.2. <i>Medición de pH</i>	93
3.10.4.3. <i>Viscosidad</i>	94
3.10.4.4. <i>Color</i>	95
3.10.5 <i>Prueba de Aceptabilidad global</i>	95
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
4.1. Cinética de secado	97
4.1.1. <i>Medición de pH durante el proceso de deshidratación</i>	99
4.1.2. <i>Color</i>	99
4.2. Isotermas de desorción	101
4.2.1. <i>Cálculo del valor de monocapa</i>	104
4.2.2. <i>Modelado de las isotermas de desorción mediante las ecuaciones de GAB y Peleg</i>	106
4.3. Isotermas de adsorción del huitlacoche	109
4.4. Pruebas de vida de anaquel en producto deshidratado	112
4.5. Prueba de similaridad.....	119
4.6. Análisis secuencial	119
4.7. Análisis Descriptivo Cuantitativo	122
4.7.1. <i>Características físicas y químicas de las sopas</i>	133
4.7.1.1. <i>Color</i>	135
4.7.1.2. <i>Viscosidad</i>	136
4.7.1.3. <i>Acidez titulable</i>	137
4.7.1.4. <i>pH</i>	137
4.8. Prueba de aceptabilidad global	138
4.9. Análisis microbiológicos	141
V. CONCLUSIONES	147
VI. LITERATURA CITADA	150
VII. ANEXOS	173

INDICE DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1. Contenido proteínico de diferentes hongos comestibles.....	6
Cuadro 2. Composición proximal del huitlacoche.....	6
Cuadro 3. Composición proximal de Huitlacoche (mg/g base seca)	7
Cuadro 4. Contenido de ácidos grasos en huitlacoche producidos sobre algunos híbridos (mg/g, base seca).	9
Cuadro 5. Actividad de agua y crecimiento microbiano en los alimentos.	21
Cuadro 6. Modelos matemáticos más utilizados para ajustar las isotermas de sorción de humedad en los alimentos.	44
Cuadro 7. Actividades acuosas de las soluciones salinas empleadas ^a en la determinación de a_w	79
Cuadro 8. Cantidades de ingredientes adicionados a las sopas de huitlacoche.	85
Cuadro 9. Valores para luminosidad, ángulo de tono y saturación para huitlacoche fresco y deshidratado.	100
Cuadro 10. Valores de las constantes obtenidas mediante los modelos de GAB y Peleg para predecir la desorción experimental de huitlacoche.....	106
Cuadro 11. Efecto de solutos sobre el crecimiento de microorganismos deteriorativos de alimentos e identificación a diferentes actividades de agua.	117

Cuadro 12. Clasificación de los atributos generados mediante el panel del QDA.	122
Cuadro 13. Atributos sensoriales, conceptos y referencias empleados en el Análisis Descriptivo Cuantitativo para la evaluación de sopas de huitlacoche fresca y deshidratada.	123
Cuadro 14. Valores de las medias para la intensidad de los atributos sensoriales en la sopa deshidratada y fresca.....	127
Cuadro 15. Valores promedio medidos para los atributos obtenidos durante el desarrollo del QDA.....	135
Cuadro 16. Aceptabilidad global de sopa de huitlacoche fresca y deshidratada en tres poblaciones.	138
Cuadro 17. Límites microbiológicos para frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas y liofilizadas.....	142
Cuadro 18. Límites microbiológicos para sopas cremas salsas y purés de legumbres u otros deshidratados que requieren cocción.	142
Cuadro 19. Recomendaciones microbiológicas para frutos y vegetales deshidratados de acuerdo a la Base de datos para Alimentos OMS, 2005. ...	143
Cuadro 20. Bacterias mesófilas aerobias en el producto deshidratado, sopa fresca y sopa deshidratada.	143
Cuadro 21. Coliformes totales en producto deshidratado, sopa fresca y sopa deshidratada.....	145

INDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. <i>Ustilago maydis</i> en mazorcas de maíz.	3
Figura 2. Venta de huitlacoche en los mercados de la ciudad de México.	11
Figura 3. Proceso básico de secado.	24
Figura 4. Periodos de secado.	25
Figura 5. Período de velocidad desecado constante.	27
Figura 6. Clasificación de los principales tipos de secaderos de acuerdo a Casp y Abril, 1999.	32
Figura 7. Isotherma de sorción de humedad típica de un alimento (Labuza, 1980).	33
Figura 8. Modelado esquemático de la estructura del almidón durante el estado amorfo y cristalino.	38
Figura 9. Efectos combinados del almidón inducidos por el agua, temperatura y tiempo.	38
Figura 10. Representación esquemática de la monocapa.	40
Figura 11. Huitlacoche adquirido en la Central de Abastos.	62
Figura 12. Material experimental empleado en el proceso de deshidratación por convección.	63
Figura 13. Deshidratación de huitlacoche mediante convección a 70 ± 2 °C. .	63
Figura 14. Obtención de la cinética de secado a 70 ± 2 °C.	65

Figura 15. Secador de Bandejas TRAY DRIER DIAGRAM EDIBON, S. A; empleado en el secado de huitlacoche.	67
Figura 16. Proceso de deshidratación a 70 ± 2 °C durante la medición de los parámetros fisicoquímicos.	68
Figura 17. Medición de pH durante el proceso de deshidratación 70 ± 2 °C. ...	69
Figura 18. Medición de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) a los lotes de huitlacoche deshidratado.	71
Figura 19. Soluciones saturadas empleadas para activar el crecimiento de microorganismos a diferentes actividades de a_w	73
Figura 20. Obtención de isothermas de desorción a 70 ± 2 °C. a) Medición de la actividad de agua. b) Determinación de humedad en estufa de secado.	74
Figura 21. Representación grafica para la obtención del valor de monocapa tomado de Fennema, 2000.	76
Figura 22. Recipiente empleado en la obtención de isothermas.	78
Figura 23. Isothermas de adsorción de huitlacoche obtenidas a 16, 25 y 35 °C.	80
Figura 24. Metodología para la cuantificación de bacterias mesofilicas aerobias.	82
Figura 25. Enumeración de bacterias coliformes por el método del número más probable (NMP).	83
Figura 26. Ingredientes empleados en la elaboración de sopas de huitlacoche.	84
Figura 27. Comparación entre huitlacoche deshidratado, fresco y rehidratado.	84

Figura 28. Ingredientes empleados en la elaboración de sopas de huitlacoche.	86
Figura 29. Elaboración de sopas de huitlacoche deshidratado y fresco.	87
Figura 30. Trabajo del panel y referencias empleadas durante el desarrollo del Análisis Descriptivo Cuantitativo para sopa de huitlacoche fresca y deshidratada.	91
Figura 31. Determinación de la acidez titulable en sopa fresca y deshidratada.	93
Figura 32. Medición de pH en sopa deshidratada y fresca.	94
Figura 33. Determinación de la viscosidad en sopa fresca y deshidratada.	94
Figura 34. Prueba de aceptabilidad global para sopas de huitlacoche fresca y deshidratada; aplicada a tres diferentes poblaciones (Puebla, Texcoco, y Chapingo).	96
Figura 35. Curva de secado para huitlacoche obtenidas a 70 ± 2 °C y determinación de la humedad crítica.	97
Figura 36. Medición de pH durante el proceso de secado (70 °C).	99
Figura 37. Diagrama de cromaticidad de huitlacoche fresco y deshidratado; antes y después del proceso de deshidratación.	101
Figura 38. Isotermas de desorción obtenidas a 25°C.	102
Figura 39. Isotermas de desorción obtenidas a 25°C y modelado de los datos experimentales mediante los modelos de GAB y Peleg.	107
Figura 40. Datos experimentales e isotermas de desorción obtenidas a 16, 25 y 35°C.	109

Figura 41. Datos experimentales e isothermas de desorción obtenidas a 16, 25 y 35°C y modelado de los datos experimentales mediante el modelo de Peleg.	110
Figura 42. Comparación entre Isothermas con datos experimentales de desorción (IDES) y adsorción (IADS).	112
Figura 43. Empleo de algunas soluciones salinas para mostrar el crecimiento de hongos a diferentes actividades de agua.	113
Figura 44. Empleo de algunas soluciones salinas para observar el crecimiento de hongos a diferentes actividades de agua.	114
Figura 45. Vista microscopia de <i>Penicillium sp.</i> y <i>Aspergillus sp.</i> identificados a diferentes valores de actividad de agua.	116
Figura 46. Sopas de huitlacoche empleadas en la prueba de similaridad; elaboradas con material deshidratado (izquierda) y fresco (derecha).	119
Figura 47. Prueba triangular con sopas de huitlacoche fresco y deshidratado para la selección del panel del QDA	120
Figura 48. Resultados del Análisis secuencial durante la selección de panelistas con una prueba triangular.	121
Figura 49. Análisis de Componentes principales aplicado para el monitoreo de panelistas después de ocho horas de entrenamiento del Análisis Descriptivo Cuantitativo.	126
Figura 50. Análisis de Componentes principales aplicado para el monitoreo de panelistas después de 38 horas de entrenamiento del Análisis Descriptivo Cuantitativo.	126

Figura 51. Atributos de apariencia, aroma, sabor, color y textura considerandos por un panel de análisis descriptivo cuantitativo para sopas de huitlacoche fresca y sopa deshidratada.	128
Figura 52. Degradación en función de la actividad de agua (Labuza, 1971; citado por Casp y Abril, 1999; Barbosa y Vega, 2000).....	132
Figura 53. Medición de las variables fisicoquímicas en las sopas fresca y deshidratada. a) Medición de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*). b) Medición de viscosidad. c) Medición de pH.....	134
Figura 54. Diagrama de cromaticidad para producto fresco (PF) y producto deshidratado (PD); así como para la sopa fresca (SF) y sopa deshidratada (SD).	136
Figura 55. Aceptabilidad global para sopa fresca y de huitlacoche en tres diferentes poblaciones (Puebla, Texcoco y Chapingo).	139
Figura 56. Placas empleadas durante la cuantificación de bacterias mesófilas aerobias en material deshidratado, sopa deshidratada y sopa fresca.....	144
Figura 57. Conteo en placa de bacterias mesófilas aerobias en material deshidratado, sopa deshidratada y sopa fresca.	144
Figura 58. Resultados obtenidos para coliformes en el material deshidratado.	145
Figura 59. Resultados obtenidos para coliformes en la sopa Deshidratada ...	146
Figura 60. Resultados obtenidos para coliformes en la sopa Fresca.	146

I. INTRODUCCIÓN

El huitlacoche, conocido también como cuitlacoche, es un hongo parásito (*Ustilago maydis*) del maíz (*Zea mays*). Su importancia se puede concebir desde dos puntos de vista: el primero desfavorable por las pérdidas económicas que ocasiona al cultivo para grano que pueden alcanzar hasta 50% del rendimiento o más en variedades susceptibles (Christensen, 1963; Arnold, 1992); y el segundo favorable, debido a la arraigada tradición en su uso como alimento humano en la región central de México, mismo que se está difundiendo en todo el mundo (Kealey y Kosikowski, 1981; Villanueva, 1995).

En México, esta tradición data de la época prehispánica y su importancia antropocéntrica es mayor en los Valles Altos Centrales, por su consumo como alimento humano. Se cree que el huitlacoche es originario del hemisferio occidental, pero en la actualidad tiene una distribución mundial, pues se encuentra en cualquier parte donde se cultiva maíz (Christensen, 1963). En los últimos años se ha ido acentuando la popularidad mundial del huitlacoche como uno de los platillos exóticos de la cocina mexicana, y con ello la demanda internacional del hongo en países de la Comunidad Económica Europea, Japón y los Estados Unidos (Pope y McCarter 1992; Villanueva, 1995).

Actualmente no existe información publicada sobre la producción total nacional de huitlacoche ni sobre la cantidad que es exportada. Es comercializado en los mercados regionales de las zonas productoras, siendo la más importante la Central de abasto de la Ciudad de México, en donde llega a encontrarse la mayor parte del año. El abastecimiento de huitlacoche en el mercado, todavía depende de la recolección en campos de maíz dedicados a la producción de grano (Kealey y Kosikowski, 1981). Generalmente se recolecta de la mazorca en forma manual y se vende en estado fresco. Considerando lo anterior, la deshidratación representa una alternativa viable, ya que al eliminar el agua se detiene o aminora el crecimiento de microorganismos perjudiciales, y de ciertas reacciones químicas, lo que aumenta su vida de anaquel.

En el presente trabajo se aborda el proceso de deshidratación del huitlacoche, la elaboración de sopa a partir del producto deshidratado y la evaluación sensorial de dicha sopa. Los elementos estudiados indican que la sopa de huitlacoche deshidratado es una alternativa tecnológica viable para incrementar las opciones de aprovechamiento del producto fresco, sobre todo porque permite incrementar la vida de anaquel y por consiguiente desplazar la oferta del producto cuando existe una demanda alta. Con base en lo anterior, el presente trabajo se planteó con los objetivos de caracterizar el secado del huitlacoche, evaluar la estabilidad del producto deshidratado, formular una sopa con huitlacoche deshidratado y comparar sensorialmente dicha sopa con la elaborada con producto fresco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Huitlacoche

Ustilago maydis es un patógeno específico del maíz (*Zea mays*) y teozintle (*Zea mexicana*), es el agente responsable del carbón común del maíz, una enfermedad distribuida en todo el mundo, que puede causar severas pérdidas económicas en la agricultura (Ruiz y Martínez, 1998). Cuando la infección se produce en las mazorcas, coincidiendo con la formación de los granos, es cuando tenemos un producto alimenticio para el ser humano, el cual se consume en México desde la época prehispánica (Castro y Ruiz, 2003) (Figura 1).

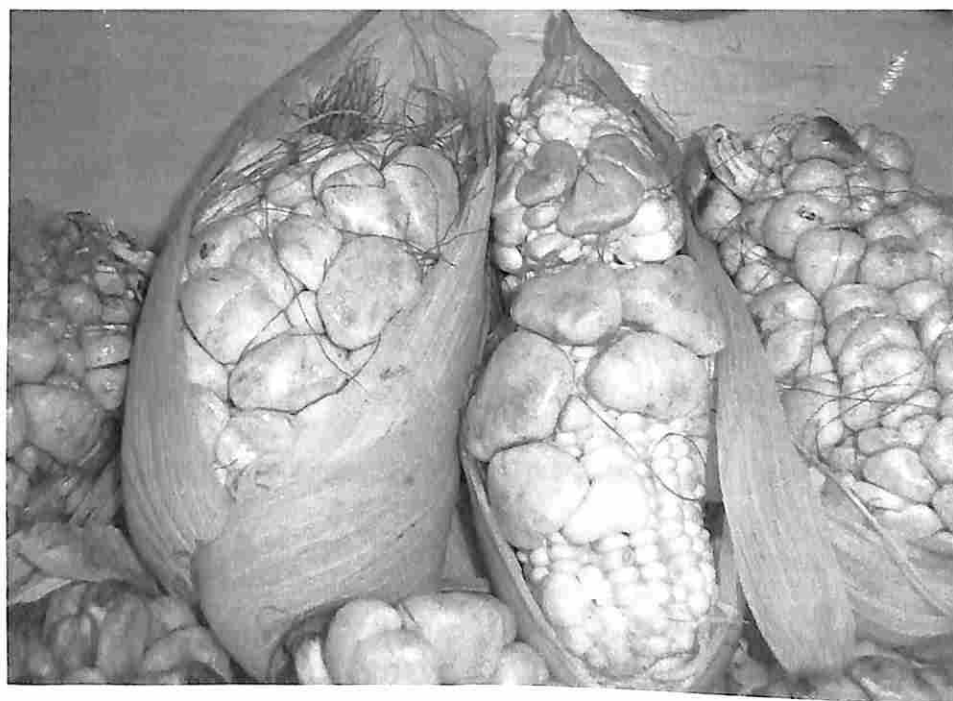


Figura 1. *Ustilago maydis* en mazorcas de maíz.

2.1.1 Origen

El *Ustilago maydis* se considera originario del hemisferio Occidental, de donde se expandió hacia el sur de Europa por los primeros exploradores españoles. A pesar de que éste fue observado en Europa hasta 1950, su presencia en E. U. se registró desde 1822 cuando Schwinitz publicó la primera lista de hongos americanos (Christesen, 1963). En México el conocimiento de este hongo data desde la época prehispánica. Los aztecas lo tenían identificando por su buen sabor como uno de los alimentos más exquisitos.

2.1.2. Nombres comunes

Los aztecas lo llamaban «Popoyotl» que significa maíz quemado, y «Huitlacoche» o «Cuitlacoche» del Náhuatl *cuítlatl*, suciedad, basura o excremento, y *cochini*, dormir. (Christensen, 1963; Kealey y Kosikowski, 1981).

En las zonas rurales del país, principalmente entre los grupos étnicos, su nombre es muy diverso; los más comunes son algunos derivados de cuitlacoche (suciedad dormida), como huitlacoche, cuitlacocochtli, cuitlacochin, cuiacochi, quitlacoche, cuiclapoche y hutlacoche; aunque también tiene otros nombres de origen prehispánico como popoyotl (maíz quemado), juas, kjutha, púas, tukura, xonatkuxi; y algunos nombres que se le han dado en castellano como carbón del maíz, flor del maíz, hongo de milpa, seta del maíz, caviar azteca, champiñón del maíz, trufa mexicana, tecolote y viejito (Paredes, 1993).

2.1.3. Producción

Paredes (2001, com. pers.¹) menciona que el huitlacoche generalmente se recolecta de la mazorca en forma manual y se vende en estado fresco. Arnold (1992), menciona que la oferta se concentra en la estación de lluvias (entre los meses de julio y agosto), y se estima que cada año son comercializadas de 400 a 500 toneladas de huitlacoche, considerando sólo los mercados de la ciudad de México. Hérdez, una empresa enlatadora de comida en México, abasteció de producto de 1970 a 1990, en 1980 procesó 100 toneladas de huitlacoche.

Las tecnologías tradicionales empleadas para la producción de huitlacoche y el alargamiento de la cadena alimentaria no han permitido una mayor expansión de un mercado nacional y foráneo cada vez más interesado en este alimento (Paredes, 2001. com. pers.¹). En las últimas dos décadas la demanda de este exquisito hongo se ha hecho evidente en algunas regiones de EUA, así como en las principales capitales europeas, no sólo en donde existe influencia de connacionales, sino también en restaurantes de lujo. Actualmente se está trabajando en la Universidad Autónoma Chapingo en un proyecto con el título "Producción Controlada e Intensiva de Huitlacoche (*U. maydis* D.C. Corda) y Alternativas para su Manejo en Poscosecha", el cual pretende desarrollar tecnología para la producción de huitlacoche bajo condiciones controladas en invernadero.

¹ Dr. Paredes López Octavio. CINVESTAV Irapuato. La Jornada, México, 10 de Septiembre del 2001. <http://www.jornada.unam.mx/2001/09/10/cien-paredes.html>.

2.1.4. Composición química y valor nutritivo

Paredes (1993) comparó la composición de huitlacoche en relación con otros hongos (Cuadro 1); puntualizando que estos últimos han pasado por selecciones rigurosas de cepas, mientras que la de *U. maydis* es silvestre y que la calidad nutricional de sus proteínas es igual o superior a ellos.

Cuadro 1. Contenido proteínico de diferentes hongos comestibles.

Hongo	Nombre común	Proteína (g/100g)
<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñon	26.9
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Setas	15.0
<i>Lentinus edodes</i>	Shiitake	25.0
<i>Cantharellus cibarius</i>	Cantarellus	13.4
<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche	16.4

Fuente: Paredes, 1993.

La composición proximal del huitlacoche en base seca se presenta en el Cuadro 2. La cantidad de proteínas es moderada pero es más alta y de mejor calidad que las presentes en el grano de maíz y otros cereales (Castro y Ruiz, 2003).

Cuadro 2. Composición proximal del huitlacoche

Componente	Peso Seco (g/100g)
Proteína	11.5 - 16.4
Grasa	1.6 - 2.3
Cenizas	5.2 - 7.0
Fibra	16.0 - 23.5
Carbohidratos	55.1 - 66.5

Fuente: Castro y Ruiz, 2003.

El contenido de grasas es bajo y sus proteínas contienen un buen balance de aminoácidos esenciales (Castro y Ruiz, 2003; reportado por Martínez, 2006). En el Cuadro 3 se muestran los aminoácidos encontrados en muestras de huitlacoche congelado y huitlacoche liofilizado.

Cuadro 3. Composición proximal de Huitlacoche (mg/g base seca)

AMINOACIDO	CONGELADO	LIOFILIZADO
Alanina	1.05±0.20	1.30±0.06
Glicina	2.44±0.18	2.63±0.05
Treonina	0.62±0.24	0.65±0.10
Serina	1.02±0.30	0.98±0.27
Valina	1.46±0.10	1.59±0.05
Leucina	2.24±0.60	2.00±0.06
Isoleucina	1.32±0.09	1.40±0.10
Acido γ -aminobutírico	1.19±0.30	0.75±0.38
Acido aspártico	1.80±0.20	1.83±0.12
Prolina	0.75±0.20	0.66±0.04
Ácido glutámico	1.90±0.50	1.79±0.23
Metionina	0.15±0.06	0.06±0.01
Fenilalanina	1.16±0.22	1.06±0.05
Ornitina	0.08±0.01	0.08±0.05
Lisina	3.21±0.60	2.97±0.20
Tirosina	1.00±0.10	0.80±0.26
Acido tricolómico	0.23±0.10	0.36±0.32

Fuente: Lizárraga y López, 1996, reportado por Martínez, 2006.

Lizárraga y López (1996) analizaron el contenido de aminoácidos libres en huitlacoche. Congelaron muestras a -80°C, la mitad fue conservada a esa temperatura y la otra mitad fue liofilizada y conservada a -4°C, para su posterior

análisis. Encontraron que los valores totales de aminoácidos libres son 21.62 y 20.91mg/g para huitlacoche congelado y liofilizado respectivamente (Cuadro 3). Este análisis reveló que el huitlacoche contiene casi todos los aminoácidos esenciales y algunos no esenciales. Los aminoácidos esenciales abarcan 10.24 mg/g de los aminoácidos totales encontrados.

Lisina es el aminoácido más abundante en huitlacoche, con 3.21 mg/g lo que representa el 14.84 % del total de aminoácidos. Otros aminoácidos abundantes son glicina, leucina y ácido aspártico, los cuales juntos representan el 29.97% de los aminoácidos totales de huitlacoche (Lizárraga y López, 1996; reportado por Martínez, 2006).

Respecto a los componentes grasos se han reportado altos niveles de ácido linoléico, el cual es un ácido graso esencial desde el punto de vista nutricional (Castro y Ruiz, 2003). Al realizar el análisis de ácidos grasos de huitlacoche producido sobre diferentes híbridos de maíz, ocho híbridos de maíz dulce y uno de maíz palomero. Los principales componentes observados fueron ácidos grasos de 16 y 18 carbonos, y los más importantes fueron oleico (18:1), linoléico (18:2) y el palmítico (16:0). El contenido varió dependiendo del híbrido sobre el cual fue producido el huitlacoche (Cuadro 4) (Venegas *et al.*, 1995, reportado por Martínez, 2006).

Cuadro 4. Contenido de ácidos grasos en huitlacoche producidos sobre algunos híbridos (mg/g, base seca).

Acido graso	No. C	FMX 292	Midship	WHX 79071	BSS 4218	Cr 84252
Laurico	12	Traza	Traza	Traza	Traza	Traza
Miristico	14	0.16	0.15	0.14	0.18	0.18
Palmitico	16	4.67	4.86	4.34	5.04	5.54
Estearico	18	0.90	0.78	0.98	1.01	1.50
Oleico	18:1	13.26	13.52	12.38	15.76	13.00
Linoléico	18:2	8.85	11.29	8.26	9.43	8.48
Linolenico	18:3	0.37	0.58	0.38	0.42	0.54
Araquidico	20	1.00	0.94	0.95	1.21	1.13
Behenico	22	0.54	0.56	0.53	0.63	0.68
Lignocerico	24	0.18	0.23	0.22	0.21	0.35

Fuente: Venegas *et al.* 1995; reportado por Martínez, 2006.

Dentro de los ácidos grasos, encontrados en huitlacoche el mayor porcentaje corresponde a los ácidos grasos insaturados, y de estos sobresale la cantidad de ácido oleico. De acuerdo con Venegas *et al.* (1995) el ácido oleico encontrado en huitlacoche producido sobre distintos híbridos de maíz, está en el rango de 41- 46.4 % del total del ácidos grasos, mientras que el ácido linoléico esta en el rango de 27 – 34.2 % del total de ácidos grasos.

2.1.5. Importancia económica y usos

El carbón común se encuentra mundialmente en todas las zonas templadas y moderadamente secas dedicadas al cultivo del maíz. Las pérdidas provocadas por esta enfermedad varían de una zona a otra y pueden oscilar desde un valor insignificante hasta un 50% o más; sin embargo, mediante el uso de variedades resistentes las pérdidas anuales rara vez exceden el 2% en grandes zonas de

cultivo (Kealey y Kosikowsky, 1981). Agrios (1998), mencionó que las especies más susceptibles son el teozintle (*Euchlaena mexicana* Scharad) y el maíz dulce donde existen pérdidas que fluctúan desde 1% hasta el 100%.

Durante la época de recolección (julio-agosto), el precio de un kilogramo de huitlacoche alcanza en México de 15 a 20 pesos; pero fuera de época (febrero-mayo) llega a costar hasta \$300.00 pesos. En los Estados Unidos un Kilogramo de huitlacoche fresco o congelado se comercializa en 20 US\$.

Recientemente el huitlacoche ha sido considerado una alternativa alimentaria, por lo que se ha intentado aumentar la popularidad de este hongo (Castro y Ruiz, 2003).

2.1.6. Principales usos del huitlacoche

El huitlacoche es uno de los hongos más gustados por los mexicanos del centro del país, tal vez el más importante. En los mercados populares se venden las mazorcas enteras por pieza o por kilo para desgranar los hongos formados en ellas. También se venden ya desgranadas; en este último caso, los hongos están generalmente muy maduros y los comerciantes prefieren rebanarlos para venderlos por kilo (Figura 2).

En el Distrito Federal, Hidalgo, Michoacán, Tlaxcala, Puebla y en general en el centro del país se vende el huitlacoche preparado, donde se utiliza como relleno de quesadillas, antojitos, sopas, etc., en Chiapas se utiliza en una bebida llamada esmoloc, en Tlaxcala se acostumbra deshidratarlo de forma casera para después emplearlo en el llamado mole prieto. En la actualidad, en algunos restaurantes se hacen también sopas y cremas de huitlacoche. Dentro de la llamada “nueva cocina mexicana” ha gozado de un nuevo auge como relleno de crepas, pechugas de pollo, ternera, escalopas de cerdo o filetes de pescado; con él se hacen también salsas para bañar diversos tipos de carnes.

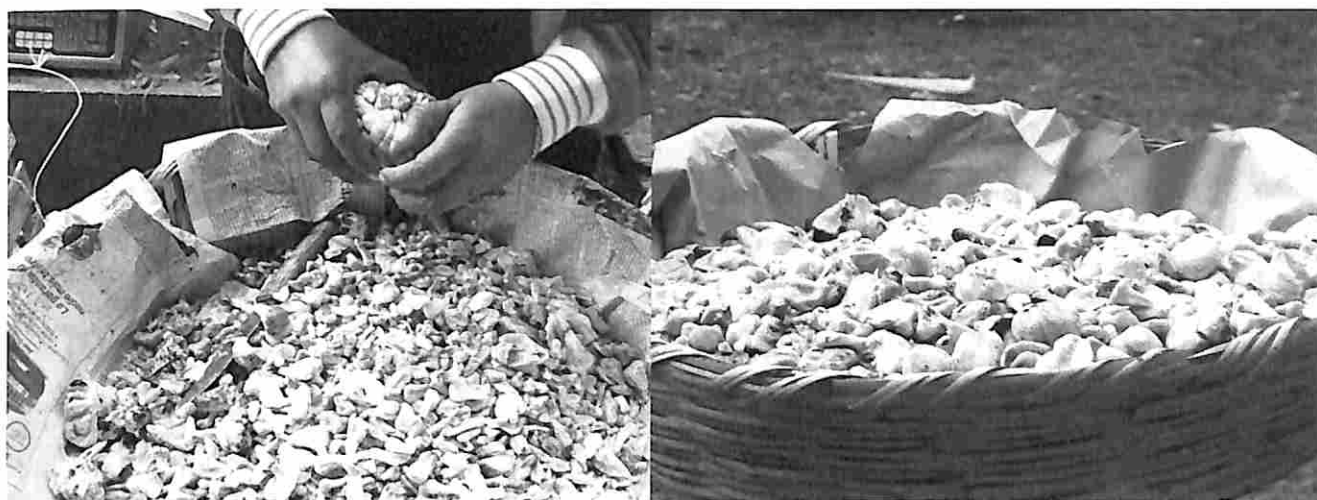


Figura 2. Venta de huitlacoche en los mercados de la ciudad de México.

2.1.7. Importancia industrial

Algunos mutantes de huitlacoche se han utilizado en la producción industrial de aminoácidos como; lisina, valina, arginina, treonina; y de algunas vitaminas como: riboflavina, niacina, biotina y ácido fólico (Kealey y Kosikowski, 1981).

2.2. Conservación de alimentos

Casi todos los alimentos son derivados de productos naturales desde plantas y animales. El objetivo de los métodos de conservación de alimentos fue dar a estos productos seguridad para su consumo y una variedad de formas comestibles. Otro objetivo importante fue conservar los alimentos, y esto hizo posible el almacenamiento y transporte; por lo que a menudo estos objetivos fueron combinados (Welch y Mitchell, 2000).

2.3. Métodos de conservación

2.3.1. Procesamiento térmico

Los procesos térmicos inactivan enzimas, reducen o eliminan contaminación microbiológica, y pueden además aportar cambios deseables en el sabor y como en el secado, el daño por calor puede también ocurrir. Sin embargo, avances durante el siglo veinte permitieron al consumidor economizar en las ventajas mientras minimizaban las desventajas. El enlatado es un proceso térmico introducido a principios del siglo XIX, es aplicado a un amplio rango de alimentos comestibles. Los hongos generalmente son conservados mediante salmueras (Chang y Miles, 1989).

2.3.2. Congelación y refrigeración

La congelación inhibe la acción enzimática y el crecimiento microbiano. Sin embargo una lenta congelación del agua en los productos alimenticios da como resultado la formación de grandes cristales de hielo y desequilibrios osmóticos los cuales dañan la estructura de los alimentos y originan productos

inaceptables en la descongelación. la refrigeración únicamente reduce la activación de enzimas y microorganismos; la refrigeración no prolonga la vida de almacenamiento tanto como la congelación, pero la estructura de los alimentos permanece intacta.

Los hongos comestibles conservan su calidad durante aproximadamente dos semanas a una humedad relativa del 85 al 95% a 0°C y con una circulación de aire suficiente (Guzmán, 1993). La vida de anaquel en refrigeración está influenciada por la madurez de los hongos (Martínez *et al.* 1988).

2.3.3. *Atmósferas modificadas y controladas*

El uso de atmósferas controladas (CA) o atmósferas modificadas (MA) prolongan la vida de almacenamiento de alimentos desarrollándose en el siglo XX. Las atmósferas utilizadas varían, pero generalmente el dióxido de carbono es incrementado y el oxígeno reducido, esto reduce la respiración y otros cambios enzimáticos en alimentos no procesados tales como frutas, vegetales y carne, y también limita los cambios oxidativos. El uso combinado de tecnologías está incrementando, y MA y CA son generalmente combinadas con la refrigeración (Welch y Mitchell, 2000).

Los hongos al ser almacenados en apropiadas concentraciones de CO₂ presentan una vida de anaquel más larga (Calvo, 1993).

2.3.4. Radiación

Varias partes del espectro electromagnético son empleadas en el procesamiento de alimentos. La luz UV puede ser usada para ayudar a mantener la esterilidad en alimentos procesados. La radiación ionizante (irradiación) puede ser usada para varios objetivos incluyendo la inhibición de brotes, desinfección, prolongar la vida de anaquel y para una esterilización total.

2.3.5. Liofilización

La liofilización involucra la congelación seguida de la sublimación del hielo bajo reducida presión. Esta técnica, pionera en los cuarenta y popularizada en los sesenta, puede ser aplicada para preparar alimentos e ingredientes tales como vegetales, frutas y carne. Esta no ocasiona daños por calor y las características sensoriales, nutricionales y estructurales de los alimentos son mantenidas con la ventaja de que los productos liofilizados combinan buena calidad con comodidad. La variedad de productos secos se incremento en los setenta donde otros procesos dieron al consumidor acceso a productos de alta calidad (Welch y Mitchell, 2000).

2.3.6. Deshidratación

La deshidratación conserva los alimentos reduciendo la actividad de agua (Welch y Mitchell, 2000). El objetivo de la deshidratación de alimentos es inhibir la degradación causada por el crecimiento de microorganismos (bacterias, levaduras y hongos) y enzimas. Sin embargo, reacciones bioquímicas indeseables las cuales también son la causa de la reducción de la vida de

anaquel del producto; son reducidos por el secado (Cassini., Marczak. Y Noreña, 2006).

Se ha demostrado que las características organolépticas de los hongos mejoran cuando antes de la deshidratación han sido escaldados, que cuando son únicamente deshidratados; ya que las enzimas que provocan el oscurecimiento se inactivan (peroxidasas) (Ríaz *et al*; 1991).

2.3.6.1. Ventajas de la deshidratación

Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos deshidratados ya que al reducir el contenido de humedad de ellos se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran (Doymaz y Pala, 2006). También el secado de los alimentos reduce su volumen y peso, lo que influye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos períodos (Jarayaman y Das, 1995). Los productos secos han sido fácilmente reconstituidos y representan un significativo avance en los productos por las rápidas técnicas de evaporación. A su vez los avances en la primera mitad del siglo incluyen el secado por spray el cual fue usado para leche, y por otros líquidos incluyendo el café, obteniéndose el primer café instantáneo en polvo. La utilización de estos procedimientos bajo vacío parcial produce productos secos con menor daño por calor, y por consiguiente una calidad superior. El secado de leche y huevo fueron importados en cantidades considerable durante la Segunda Guerra

Mundial y ayudaron para proporcionar una adecuada dieta (Welch y Mitchell, 2000).

2.3.6.2. Desventajas de la deshidratación

El secado de vegetales con altas temperaturas afecta las propiedades organolépticas del producto y su valor nutricional (Jarayaman y Das, 1995). Las principales características que se afectan durante esta operación son textura, color, densidad, porosidad y la capacidad de adsorción (Krokida y Maroulis, 2001), además se pueden presentar los fenómenos de endurecimiento y encogimiento (Mari, 2002). Considerando lo anterior, la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios cinéticos, aunque las temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo de proceso. Krokida *et al.*, (2003) han estudiado el efecto de algunas variables tecnológicas, tales como, temperatura de aire, humedad relativa del aire de secado, velocidad del aire y el tamaño de partículas, que influyen en el secado de varios vegetales.

2.4. El agua en los alimentos

El agua representa el constituyente más abundante en la mayor parte de nuestros alimentos en estado natural (70% de su peso o aún más). En las frutas y hortalizas puede representar el 90 o hasta el 95% de su peso. Tiene un papel esencial para la estructura y textura de los productos vegetales y animales de los que nos alimentamos.

El agua puede afectar mucho la capacidad de conservación de los alimentos, y este es uno de los motivos que se tienen para extraerla de ellos, ya sea parcialmente como en la evaporación y la concentración, o casi completamente como en la verdadera deshidratación. Cuando congelamos los alimentos también les quitamos agua como tal, ya que el agua es más activa en los alimentos en su forma líquida; como líquido en los alimentos es el solvente de numerosas sustancias químicas y además estimula las reacciones químicas entre los componentes disueltos. Una gran porción de la ciencia y tecnología de alimentos puede describirse en términos de la manipulación del agua contenida por los alimentos; su extracción, congelación, emulsificación y adición en el caso en que se desee disolver o reconstituir alimentos deshidratados(Potter, 1978).

El agua puede existir en los alimentos en varias formas; siendo un importante componente de la mayoría de las frutas; además determina su peresibilidad (Fennema, 2000). El contenido de humedad de un alimento, involucra toda el agua que éste contiene, siendo siempre inferior a 1, esto significa que los constituyentes del producto fijan parcialmente el agua disminuyendo así su capacidad de vaporizarse. Para comprender el efecto del agua retenida por los alimentos higroscópicos sobre sus propiedades y su estabilidad, es necesario conocer de qué forma es retenida.

La mayoría de los alimentos sólidos pueden clasificarse como sólidos higroscópicos casi insolubles puesto que, en general, presentan en su

composición sustancias que pueden disolverse en el agua. Se define tradicionalmente como agua ligada a la fracción de agua retenida por un alimento de tal forma que no puede ser congelada, por muy baja que sea la temperatura, mientras que el agua libre sería la fracción congelable. Sin embargo, estos conceptos no son universalmente aceptados. Para cada alimento existe un contenido de humedad óptimo en que la estabilidad frente a las alteraciones es máxima, y se ha comprobado que existen grandes diferencias entre los contenidos de humedad óptimos para los distintos productos alimentarios. El conocimiento de la actividad de agua es muy útil para predecir las condiciones de estabilidad en los alimentos, para realizar formulaciones y condiciones de almacenamiento en nuevos productos y para mejorar los procesos de secado y equipo (Vullioud., Marquez y Michelis, 2004).

2.5. Definición de actividad de agua

El agua libre es expresada como actividad de agua (a_w) la cual está dada por la relación entre la presión de vapor en equilibrio en el alimento y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. La actividad de agua puede también entenderse como la humedad relativa en equilibrio con el producto a la misma temperatura (Figueira *et al.*, 2004).

La actividad de agua y la transición vítrea han sido empleadas extensivamente en la literatura para evaluar la estabilidad de almacenamiento de productos alimenticios (Sablani., Kasapis., y Rahman, 2007).

2.5.1. Importancia práctica de la a_w

La a_w tiene especial importancia en el manejo tecnológico de los alimentos en diferentes operaciones, que incluyen:

a) **Secado.-** El grado de secado por aire a cualquier instante es proporcional a la diferencia entre la presión de vapor en la superficie del producto y la presión parcial del agua en el aire (Loncin y Lenges, 1968); de ahí que el conocimiento de las isotermas de sorción resulten de gran interés, ya que constituye una parte esencial de la teoría de secado (proceso de deshidratación) y proporciona información útil para el diseño de equipo para este propósito (Aguirre y Viollaz, 1988).

b) **Crecimiento y destrucción de microorganismos.** El crecimiento bacteriano es caso imposible cuando la a_w se reduce a menos de 0.90. La mayoría de los hongos y levaduras se inhiben a una a_w de 0.88 y 0.80, respectivamente, aunque algunas especies de levaduras osmofílicas pueden crecer con una a_w menor a 0.60. La reducción de la a_w en los alimentos se puede lograr por la eliminación parcial del agua (deshidratación) o por la adición de sustancias solubles en agua, tales como azúcares o sales (Fennema, 1975).

Como la mayoría de los microorganismos no crecen con a un a_w menor 0.6, por tanto el a_w de los alimentos tendría que ser menor de 0.6 para prolongar la vida de anaquel del producto (Cuadro 5). Además, es indispensable para el secado o contenido de humedad intermedio para conocer las características de sorción

de estos productos en un rango de actividad de agua (0 a 0.6), y las isothermas de sorción pueden entonces ser empleadas para predecir la vida de anaquel de productos empacados sensibles a la humedad para modelar la adsorción de humedad durante el almacenamiento y la distribución (Yan., Sousa-Gallagher y Oliveira, 2008).

La inhibición de la actividad microbológica se logra con actividades de agua (a_w) más bajas que 0.7. Dependiendo del producto, el valor de humedad (base húmeda) está entre 5 y 25% (Cassini., Marczak. Y Noreña, 2006).

Cuadro 5. Actividad de agua y crecimiento microbiano en los alimentos.

Aw	Microorganismos generalmente inhibidos en el mínimo intervalo de aw	Alimentos comprendidos en el intervalo
1.00-0.95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras	Alimentos altamente perecederos (frescos) y frutas, hortalizas, carne, pescado enlatados y leche; salchichas cocidas y pan de molde; alimentos hasta con aproximadamente el 40% (en peso) de sacarosa o 7% de cloruro de sodio.
0.95-0.91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , algunos mohos, levaduras (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>)	Algunos quesos (Manchego, Cheddar, Suizo, Muenster, Provolone), carne cruda (jamón), algunos zumos de frutas concentrados; alimentos que contienen hasta el 55% (en peso) de sacarosa o el 12% de cloruro sódico.
0.91-0.87	Muchas levaduras (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i>	Embutidos fermentados (salami), pastas esponjosas, quesos secos, margarina; alimentos que contienen hasta el 65% de sacarosa (saturado) o 15% de cloruro sódico
0.87-0.80	La mayoría de los mohos (penicilios micotoxigénicos), <i>Staphylococcus aureus</i> , mayoría <i>Sacharomyces (bailii)</i> spp., <i>Debaryomyces</i>	La mayoría de los zumos de frutas concentrados, leche condensada, jarabe de chocolate, jarabe de arce y de frutas; harina, arroz, legumbres hasta con el 15-17% de humedad; tarta o pastel de fruta, jamón << country style >>
0.80-0.75	La mayoría de las bacterias halófilas, aspergilos micotoxigénicos	Mermelada, jalea, mazapán, frutas glaseadas, algunas mieles
0.75-0.65	Mohos xerófilos (<i>Aspergillus equinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>)	Avena con alrededor del 10% de agua; turrónes, dulces de azúcar, miel, gelatina, melazas, azúcar de caña sin refinar, algunas frutas desecadas, nueces
0.65-0.60	Levaduras osmófilas, (<i>Sacharomyces rouxii</i>), algunos mohos (<i>Aspergillus equinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>)	Frutas desecadas con el 15- 20% de humedad; algunos caramelos
0.5	No hay proliferación microbiana	Pasta con aproximadamente el 12% de humedad; especias conteniendo aproximadamente el 10% de humedad
0.4	No hay proliferación microbiana	Huevos enteros en polvo con aproximadamente el 5% de humedad
0.3	No hay proliferación microbiana	Bizcochos, galletas, corteza de pan, palitos, etc., con el 3-5% de humedad
0.2	No hay proliferación microbiana	Leche entera en polvo con el 2-3% de humedad; hortalizas desecadas con aproximadamente el 5% de humedad; palomitas de maíz con aproximadamente el 5% de humedad; bizcocho << country style >>

Fuente: Beuchat, L. R.; 1981. citado por Fennema, 2000.

c) **Acción enzimática.** La mayoría de las enzimas se inactivan completamente cuando la a_w alcanza un valor de 0.85; aunque algunos tipos de enzimas muy específicas permanecen activas a a_w menores a 0.3, e incluso hasta 0.1 (Fennema, 1975).

d) **Reacciones químicas.** Entre los fenómenos químicos capaces de causar deterioro a los productos alimenticios, se encuentran las reacciones de Maillard, consideradas de gran importancia en el manejo tecnológico de los alimentos. Estas reacciones son fuertemente influenciadas por la a_w en sustancias sólidas, observándose su manifestación máxima cuando la a_w alcanza valores de 0.6-0.7 (Fennema, 1975).

2.6. Condiciones generales de secado

El secado es un procedimiento de conservación que al eliminar el agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática (García *et al.* 2007). Existen diferentes denominaciones de este sistema de conservación: desecación, secado, y deshidratación, que pueden considerarse sinónimos aunque algunos autores establecen diferencias, únicamente cuantitativas entre ellos (Casp y Abril, 1999):

Desecación: Es la eliminación de agua hasta la humedad final que esté en equilibrio con el aire de secado. Esta humedad final oscila entre 0.12 y 0.14 kg de agua por kg de producto húmedo. El valor de la a_w alcanzado debe ser suficientemente bajo para inhibir el crecimiento microbiano así como para limitar las reacciones enzimáticas.

Deshidratación: Es la eliminación del agua de un producto hasta un nivel próximo al 0% de humedad.

La transmisión del calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hasta la superficie de éste. El gradiente de presión existente entre la superficie del agua en el interior y el aire exterior al alimento, es lo que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste.

Por lo tanto, durante el secado se producen cuatro procesos de transporte (Figura 3).

1. ***Transmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto:*** puede realizarse por conducción, convección o radiación.
2. ***Transmisión del calor desde la interfase sólido-gas hasta el interior del sólido:*** Sólo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).
3. ***Transmisión de materia a través del sólido:*** Se puede producir por difusión o capilaridad. Difusión debida a las diferencias de concentración y capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades del orden de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para

niveles altos de humedad (65% o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.

4. **Transferencia de vapor desde la interfase sólido-gas hacia el seno del gas:** Los equipos de deshidratación utilizarán por tanto para la transferencia de energía, procesos basados en convección, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta el alimento. . Los sistemas más usuales emplean la convección como mecanismo de transferencia de calor y aire como vehículo de esta energía, por lo tanto la transferencia de calor dependerá, en este caso, de la temperatura del aire, de su humedad, de su caudal, de la superficie expuesta, del alimento y de la presión.

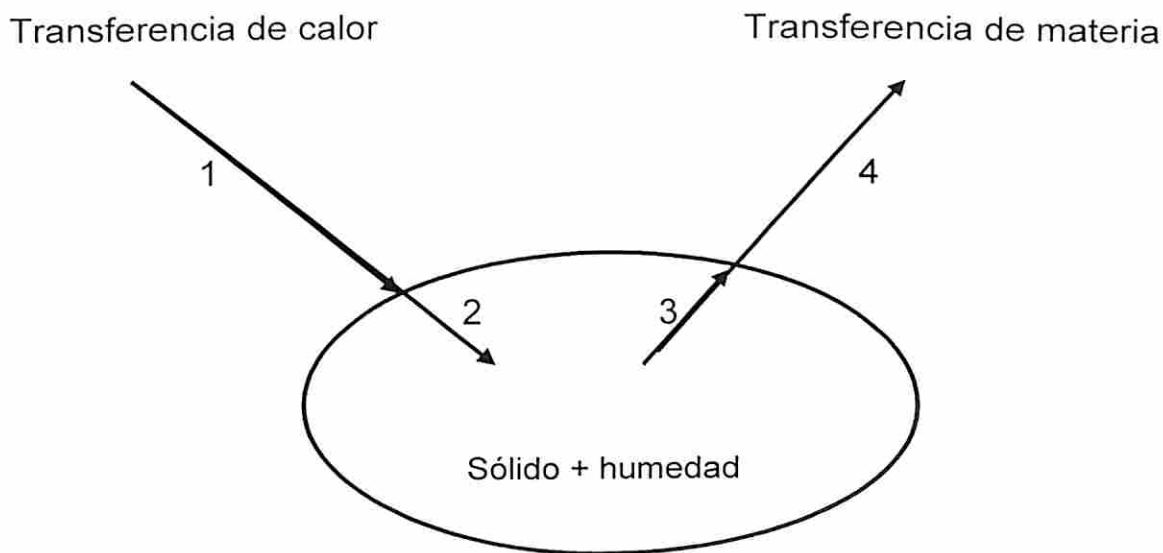


Figura 3. Proceso básico de secado.

Es necesario tener en cuenta que los cuatro procesos de transporte citados, puesto que la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la

mayoría de los casos los procesos limitantes serán los de transporte de materia y calor en el interior del alimento.

2.7. Periodos de secado

El proceso de secado esta normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de de velocidad de secado decreciente (Casp y Abril, 1999; Barbosa y Vega-Mercado, 2000). En la Figura 4 se muestra una curva de secado cuando se representa el contenido de humedad contra el tiempo de secado.

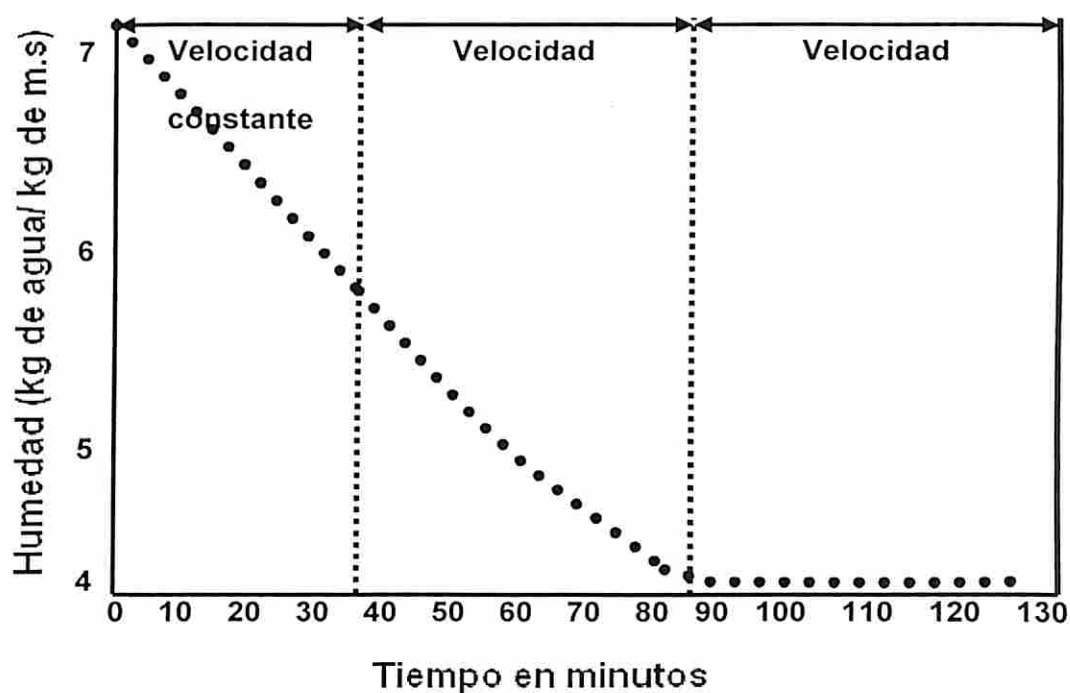


Figura 4. Periodos de secado.

En el secado por convección, por lo tanto se pueden distinguir las siguientes etapas clásicas, diferenciadas entre sí por la velocidad de secado.

2.7.1. Periodo de precalentamiento

Transcurre mientras el producto y el agua contenida en el producto se calienta ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica de ambiente secante. El producto a secar al principio está frío, su presión de vapor es relativamente baja, por lo tanto la velocidad de transferencia de masa es muy lenta. Por el contrario, el gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevada, en consecuencia la transferencia de calor es alta. La cantidad de calor transferida a la superficie del producto es netamente superior a la cantidad de calor arrastrada por la poca agua evaporada, existe un desequilibrio. El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la superficie del producto, lo cual produce una disminución del gradiente de temperatura, que cesará cuando se alcance el equilibrio estacionario. Este período es muy corto en comparación con el tiempo total de secado; y a menudo se desprecia en los cálculos de tiempo de secado (Barbosa-Cánovas, 2000; Casp y Abril; 1999).

2.7.2. Periodo de velocidad de desecación constante

Se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se elimina con el flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo ésta la de bulbo húmedo del aire. Durante este período, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua. Este período continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. En la

mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la *humedad crítica*. Por lo tanto, en la curva de secado este período se deberá ajustar a una recta (la humedad crítica coincide con el punto en que la recta ajustada se separa de la curva de secado) (Figura 5).

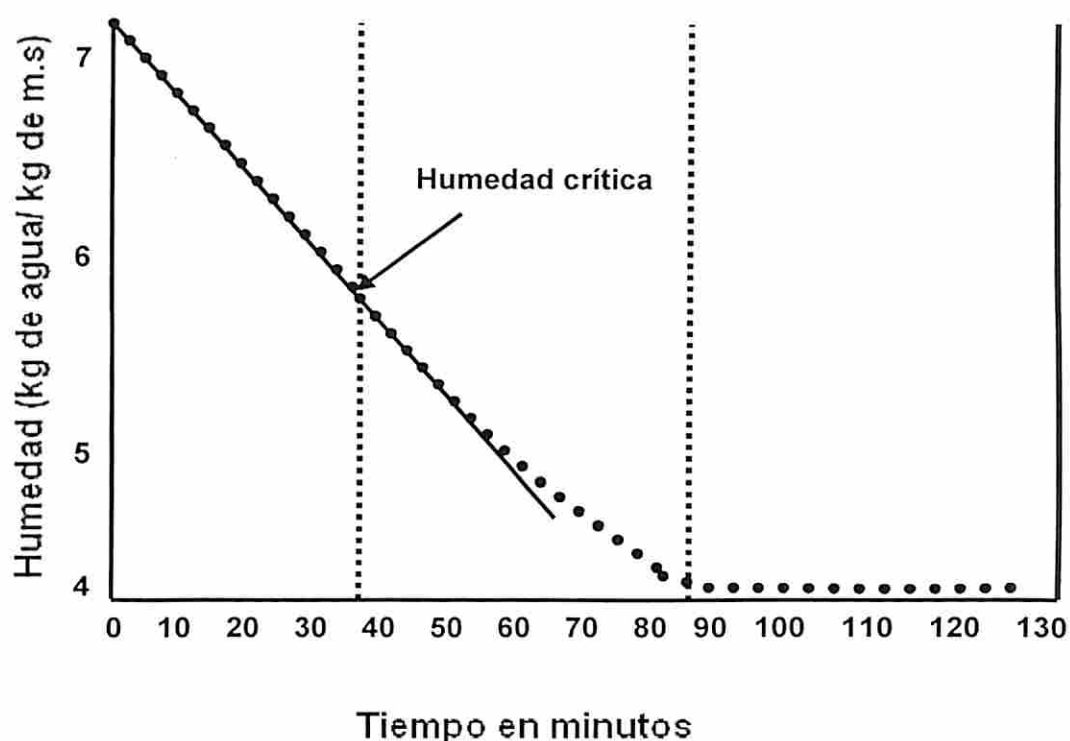


Figura 5. Período de velocidad de secado constante.

La humedad crítica no sólo depende del alimento, sino que también del tamaño de partícula y de las condiciones del aire de secado. En el período de velocidad constante, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido. El mecanismo interno de flujo de la humedad no afecta a la velocidad de secado en este período, es el entorno secante, el aire que impone la velocidad de secado, que

se incrementa al hacerlo la temperatura. Lo mismo ocurre con la velocidad de aire de secado, cuando mayor es ésta mayor es la velocidad del secado.

El diámetro de los poros y de los capilares disminuye y la pérdida de peso es aproximadamente igual al volumen de agua evaporada. El flujo de agua líquida arrastra solutos que se depositan en la superficie, si no son volátiles, produciendo el fenómeno llamado "*case harding*" que afecta a la eliminación de agua en períodos posteriores. Cuando la superficie externa del producto deja de estar saturada, comienzan uno o varios periodos de velocidad de secado decreciente y la temperatura se incrementa continuamente desde la de bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor.

2.7.2.1. Humedad crítica

Espinosa (1993) reporta que existen tres métodos para determinar la humedad crítica.

- 1) **Apreciación:** Está técnica se auxilia de las cinéticas de secado, sólo se determina el cambio de pendiente de la curva. La línea recta corresponde al período constante, de modo que la humedad crítica, es aquella donde la curva abandona la línea recta.
- 2) **Medición de temperaturas:** El período constante será aquél, donde la temperatura de la superficie del sólido se mantenga invariable. De esta forma, la humedad crítica será la correspondiente a la humedad donde la superficie del sólido comience a incrementar su temperatura.

- 3) **Estadístico:** Considera la construcción de un modelo matemático de segundo orden, donde se evalúa la significancia de cada uno de los términos del polinomio. La humedad crítica es aquella donde el término de segundo orden deja de ser significativo.

Modelo matemático lineal de segundo orden: $X = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$

Donde:

X: Humedad (kg agua/kg sólidos secos)

T: Tiempo (s)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$: Constantes del modelo

El procedimiento consiste en obtener el modelo señalado considerando todos los valores de la cinética, posteriormente los valores finales se van eliminando uno y se va aplicando el modelo. La humedad crítica (X_c) se consideró como aquella a la cual el término β_2 deja de ser estadísticamente significativo.

2.7.3. Período de velocidad decreciente

Comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La zona de evaporación “frente de secado” que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La

migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante, Los depósitos de soluto obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua. En el primer período de velocidad decreciente, el mecanismo de transporte de masa que predomina es la difusión de vapor, desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto.

2.7.4. Segundo período de velocidad decreciente, o período de velocidad final

Este período sólo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el período anterior. En este período, el conjunto del producto está en el dominio de la higroscopía. En el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión- sorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico, de las condiciones de secado.

2.8. Sistemas de deshidratación

Los métodos de secado se han desarrollado alrededor de los requerimientos específicos de cada producto. Por esta razón el proceso tiene lugar de muchas formas y se utilizan diferentes clases de equipos. En general la deshidratación se conduce según dos métodos básicos: proceso adiabático y no adiabático. En el proceso adiabático el calor de vaporización es suministrado por el calor

sensible del aire en contacto con el producto a secar. En el proceso no adiabático, el calor de evaporación es aportado por el calor radiante o por el calor transferido a través de paredes en contacto con el material a secar. En todos los métodos de deshidratación, el alimento a secar debe ponerse en contacto con un medio, que con frecuencia es aire, para eliminar la humedad del producto y sus alrededores.

2.9. Secadores

Se utilizan muchos tipos de secadores en la deshidratación de alimentos, la selección de un tipo en particular debe ser guiada por la naturaleza del producto que va a ser secado, la forma deseada del producto terminado, las condiciones de operación, la economía y las condiciones de operación.

Por otra parte los secadores pueden clasificarse de acuerdo al modelo de operación (continuos o por lotes), al modo de la transferencia de calor (convección, conducción o radiación) y la naturaleza del material a deshidratar (sólido, líquido o semisólido). Casp y Abril (1999) clasifican a los secadores como *directos e indirectos* (Figura 6).

Los secaderos directos se caracterizan por un contacto directo entre el gas caliente y el sólido húmedo, mientras que en los indirectos el calor se transfiere al sólido húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre metálica.

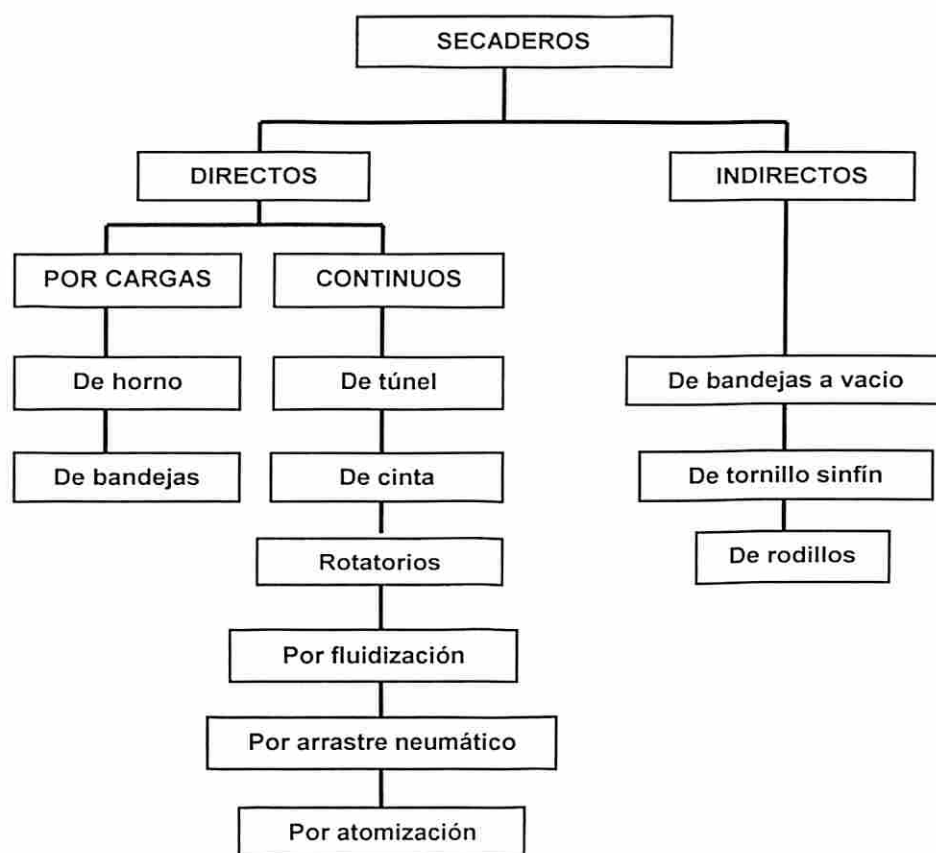


Figura 6. Clasificación de los principales tipos de secaderos de acuerdo a Casp y Abril, 1999.

2.10. Isotermas de adsorción y desorción.

Para un alimento a una temperatura dada, un gráfico del contenido de humedad en equilibrio por unidad de materia seca contra la actividad de agua (a_w) es conocida como isoterma de adsorción y desorción (Arslan y Togrul, 2005, McLaughlin y Magee; 1998; Rahman y Labuza, 1999).

Las isotermas de equilibrio de los productos alimenticios pueden representar diferentes formas, pero las más frecuentes son las del tipo sigmoidal, de acuerdo a la clasificación de Brunauer *et al.* (1940). Esta forma sigmoidal se

atribuye a las diferencias cualitativas de afinidad de agua por parte de los sólidos higroscópicos que forman parte de la composición de los alimentos. Las isothermas de sorción de frutas con altos contenidos de azúcar tales como chabacanos, higos, pasas y ciruelas han sido determinadas por algunos investigadores (Chirife e Iglesias, 1978; Bolin, 1980; Saravacos, Tsiourvas y Tsami, 1986; Maroulis, Tsami, Marinos-Kouris y Saravacos, 1988; Ayranci, Ayranci y Dogantan, 1990; Tsami, Marinos-Kouris, y Maroulis, 1990). Sin embargo, los datos obtenidos se encuentran muy limitados en la literatura (Hassan, 1991). Las isothermas sigmoidales presentan tres regiones, en donde la región I corresponde a una región de monocapa, la región II, de multicapa y la región III, de condensación capilar (Labuza, 1968) (Figura 7).

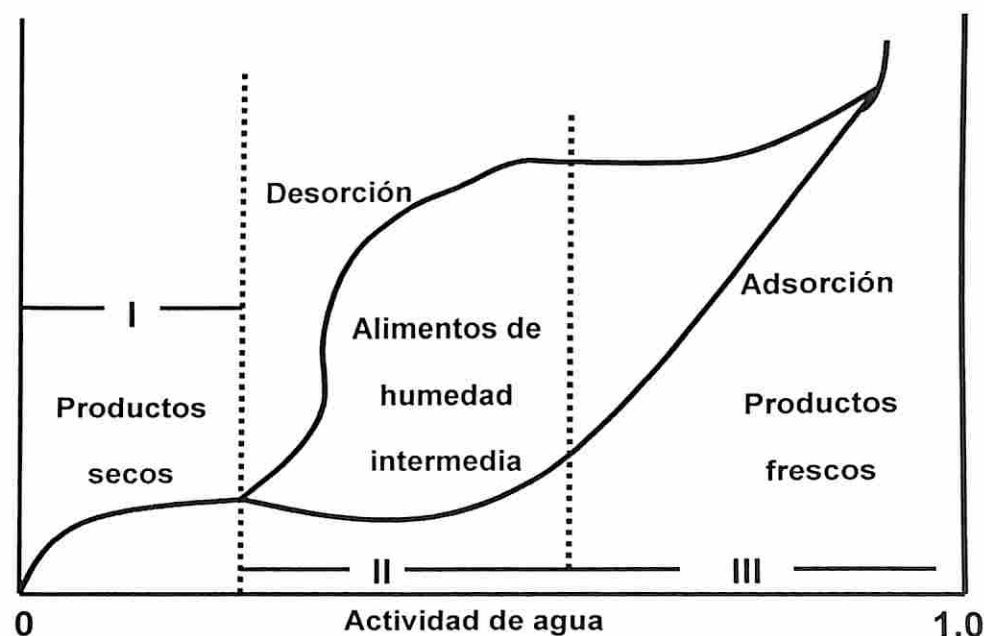


Figura 7. Isotherma de sorción de humedad típica de un alimento (Labuza, 1980).

2.10.1. Región de monocapa

La región I de la curva corresponde a la adsorción de una capa molecular de agua, llamada también región de monocapa, sitio polar o agua ligada, donde se encuentra el agua tipo I con una actividad enormemente reducida y una gran energía de enlace. Hay una adsorción de monocapa de agua sobre los solutos. Esta región, de acuerdo a lo señalado por Lilley y Sutton (1985), corresponde aproximadamente a una humedad de 0.0 a 0.07 g de agua por g de materia seca ($\text{g H}_2\text{O/g.m.s.}$). En la humedad máxima de esta región se tiene una estabilidad óptima de los materiales alimenticios para mantener sus propiedades y estructuras características, ya que por debajo de esta humedad pueden presentarse fenómenos de autooxidación y por arriba de la misma, actividad enzimática y reacciones oxidativas.

La conservación del contenido residual de humedad correspondiente a la capa monomolecular de agua absorbida (o valor de monocapa) definida por la teoría de BET (Brunauer, Emmet y Teller) confiere la máxima estabilidad durante el almacenamiento, reversibilidad de hidratación de las proteínas, además de la protección de los carbohidratos y proteínas por el mecanismo de bloqueo de grupos funcionales con moléculas de agua (Brunauer *et al.*, 1938). Si se elimina esta capa de agua, el producto sufrirá procesos de autooxidación de lípidos, y si la humedad excede a esta capa, el agua queda libre y facilita alteraciones como la oxidación, oscurecimiento no enzimático, reacciones hidrolíticas, actividad enzimática y desarrollo de microorganismos (Rockland, 1980).

2.10.2. Región de multicapas

La región II corresponde a la adsorción de capas adicionales de agua sobre la monocapa y se conoce como región de multicapas, sitio donde se encuentra el agua tipo II, con actividad considerablemente reducida y alta energía de enlace, atrapada en puentes de hidrogeno agua-soluto y agua-agua en múltiples capas adyacentes al soluto. Esta región, de acuerdo a lo señalado por Lilley y Sutton (1985), contienen una humedad mínima de aproximadamente 0.07 g H₂O/g.m.s. y una máxima de 0.14 a 0.33 g H₂O/g.ms. En esta zona de *a_w* pueden presentarse problemas de obscurecimiento no enzimático, actividad enzimática; reacciones hidrolíticas y reacciones oxidativas.

El agua presente en esta región está unida químicamente a los agrupamientos que presenta la superficie del alimento, de modo que esta unión causa que el alimento empiece a acelerar sus funciones metabólicas, consumiendo oxígeno y desprendiendo calor y bióxido de carbono (Labuza, 1968; Iturbide 1987).

2.10.3. Región de condensación capilar

La región III incluye al agua condensada en los poros del material, denominada agua de condensación capilar, agua móvil o agua tipo III, con una actividad ligeramente reducida. El agua se encuentra retenida físicamente en la matriz celular, como pueden ser las membranas, microcapilares, fibras, miofibrillas, entre otras estructuras, y está relacionada con la presencia, desarrollo y daño que causan los microorganismos. También esta agua participa en la disolución de compuestos hidrosolubles y germinación de granos (Iturbide, 1987).

Esta región de acuerdo a lo señalado por Lilley y Sutton (1985), contiene humedad mínima de 0.14 a 0.33 g H₂O/g.m.s. y máxima de 20 g H₂O/g.m.s., en donde se incrementa la posibilidad de crecimiento de microorganismos.

Se ha demostrado que una vez que la a_w alcanza valores donde el agua puede condensarse los capilares (en el comienzo de la región III), pueden ocurrir reacciones enzimáticas, ocasionando daños en el alimento; sin embargo, también hay ciertos valores de a_w crítica bajo los cuales no hay deterioro causado por crecimiento de hongos, levaduras y bacterias (Labuza, 1968).

Por medio de las isothermas de sorción se puede relacionar el contenido de humedad, humedad relativa y presión de vapor (Becker y Sallans, 1956); así como obtener el valor de monocapa, que es el contenido de humedad que permite la mayor estabilidad de los alimentos (Labuza, 1968).

Cada producto alimenticio presenta una isoterma de sorción o curva de equilibrio higroscópico característico, Las isothermas varían con la temperatura, de modo que un aumento en la temperatura produce una disminución en el contenido de humedad a una a_w constante. Algunos autores mencionan que el efecto de la temperatura se aprecia más en las isothermas de desorción que en las de adsorción; además indican que uno de los principales efectos de la naturaleza fisicoquímica de los alimentos sobre la histéresis es debida si se alcanza el punto de saturación mientras el material se encuentra en sorción, la inmediata desorción puede conservar el estado amorfo debido a supersaturación. Parte del agua que queda después de la desorción a

sequedad. Incluso tras prolongado almacenamiento es agua atrapada por enlaces de hidrogeno de microrregiones amorfas de azúcar, así como también agua de cristalización.

Rockland (1970); define la textura de los alimentos como una función de las isotermas de sorción localizadas de la forma sigmoide (a) región I (baja actividad de agua): seca, dura, crujiente y retraída; (b) región II (actividad del agua intermedia): seca, firme y flexible y (c) región III (alta actividad de agua): húmeda, jugosa, blanda, flácida, hinchada y pegajosa. Muchos de los componentes de los alimentos pueden estar presentes en diversos estados: sólidos, cristalinos, sólidos amorfos tanto en estado vítreo o elástico, disolución acuosa, o unidos a otros componentes. En tales sistemas la sorción es compleja. Por ejemplo las estructuras esquemáticas del almidón a baja y alta actividad del agua se muestran en la Figura 8. El efecto de recocción (templado) combinado con el agua, tiempo y temperatura pueden alterar la estructura y propiedades funcionales del almidón cereal (es decir, de estado amorfo a estado cristalino como se muestra en la Figura 9.

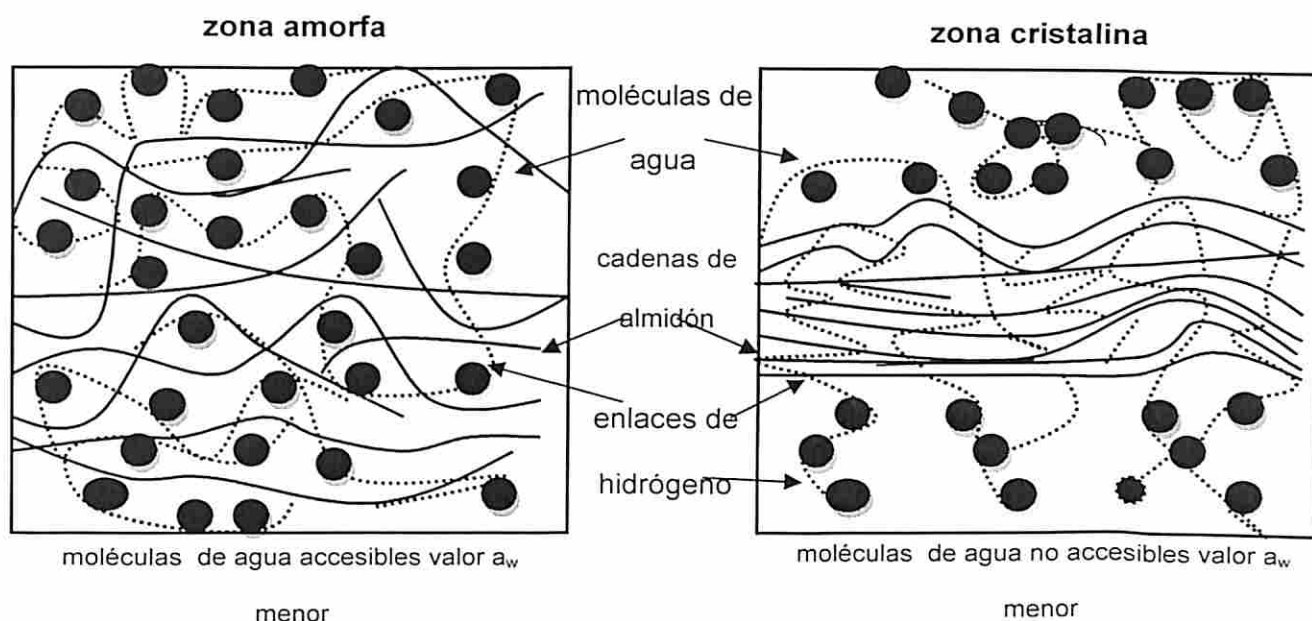


Figura 8. Modelado esquemático de la estructura del almidón durante el estado amorfo y cristalino.

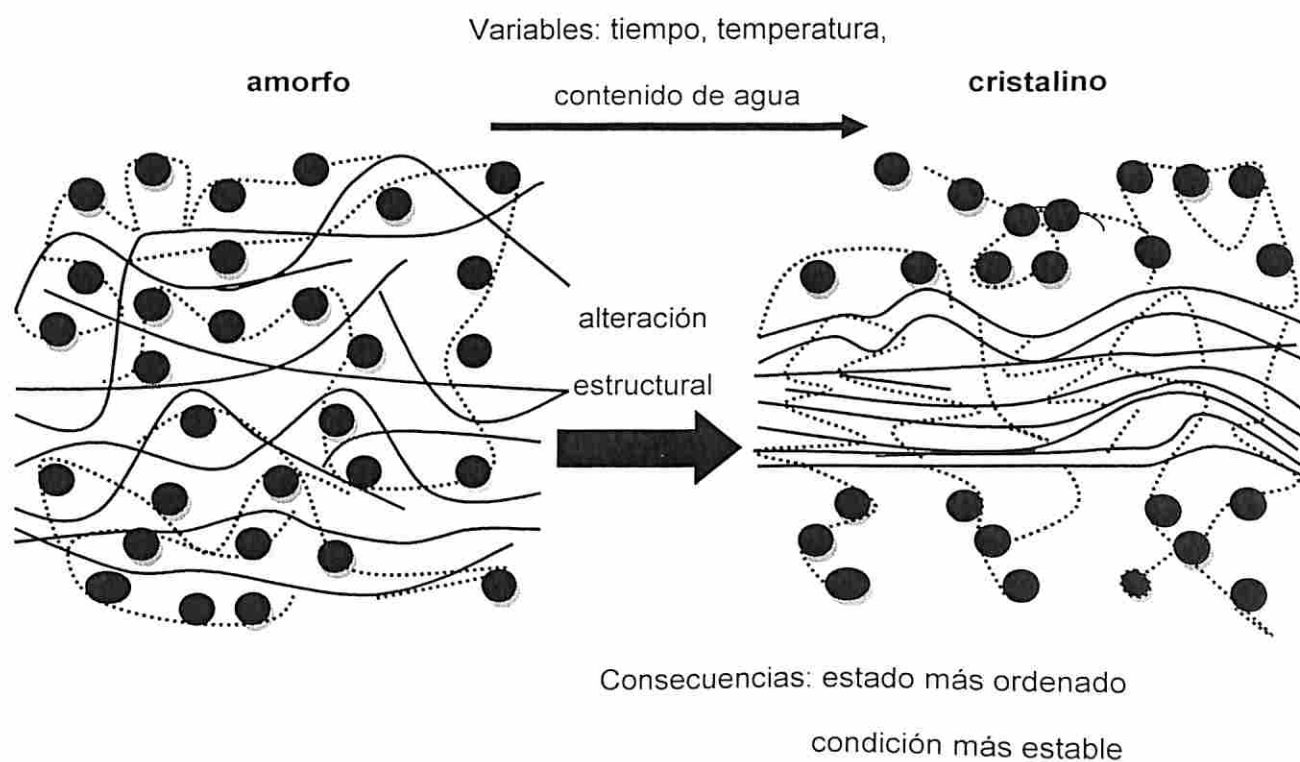


Figura 9. Efectos combinados del almidón inducidos por el agua, temperatura y tiempo.

2.11. Histéresis

En general, la isoterma de desorción para un producto dado y una temperatura determinada, no se superpone a la isoterma de adsorción. A este fenómeno se le denomina histéresis (Labuza, 1968).

La histéresis representa entonces la diferencia en el contenido de humedad a una misma a_w , entre las isotermas de adsorción y desorción. En general, a la misma a_w , las isotermas de desorción tienen niveles más altos de humedad que las isotermas de adsorción. Los efectos de la histéresis son más notables en intervalos de humedad intermedia, aunque pueden existir a intervalos de baja y alta a_w (Rockland, 1980). Varias teorías han sido formuladas para explicar el fenómeno, los cuales se han relacionado en primer lugar, con las interacciones constituyentes no acuosos durante la desorción y la pérdida irreversible de los puntos de adsorción; y en segundo, a la diferencia en la presión de vapor que el agua precisa para llenar o vaciar los capilares de forma irregular (Labuza, 1968).

2.12. Definición del valor de monocapa

El contenido de humedad de la monocapa (Figura 10) ha sido definida como el contenido de humedad correspondiente a la saturación de todos los sitios de adsorción primaria por una molécula de agua (Jayendra Kumar *et al.*, 2005) y ha sido propuesta (Rockland, 1969) como el límite inferior de humedad de los alimentos deshidratados y puede ser obtenida aplicando la ecuación de BET (Brunauer *et al.*, 1938). Con el modelo de BET se pueden obtener dos constantes útiles: el valor de monocapa, que estima la humedad que es

suficiente para formar una capa unimolecular (m_0) en el alimento, y (C) que se emplea para calcular el calor de adsorción (Curie, 1981).

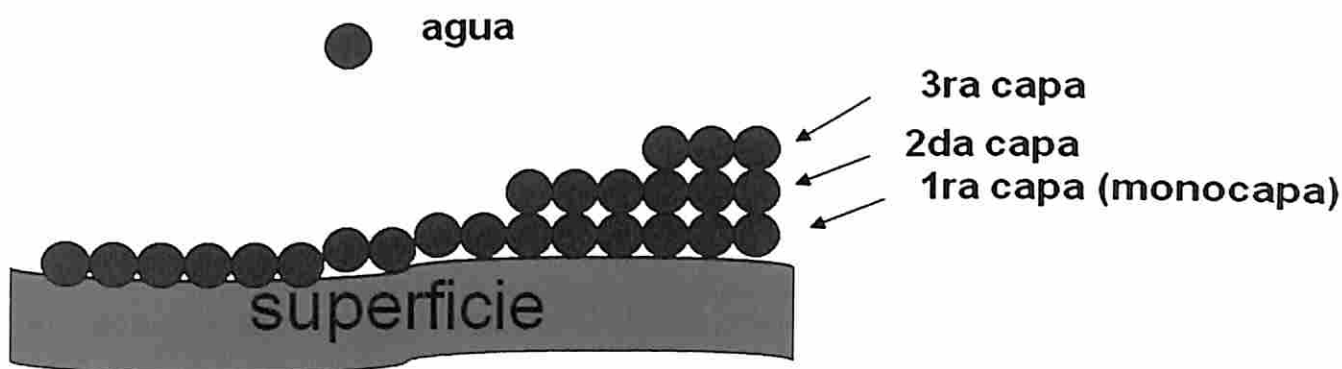


Figura 10. Representación esquemática de la monocapa

2.13. Métodos de obtención de isothermas de sorción

2.13.1. Métodos gravimétricos

Consisten en poner pequeñas muestras del alimento en varias atmosferas de la humedad relativa y temperatura constante. Después de que las muestras alcanzan el equilibrio, el contenido de humedad se determina gravimétricamente, registrando el cambio de peso en la muestra, conociendo el contenido de humedad inicial de la misma.

2.13.2. Métodos manométricos

Consiste en colocar una muestra de contenido de humedad conocida en una cámara de temperatura constante, cerrada herméticamente. Cuando la muestra alcanza el equilibrio de humedad, la presión parcial del agua presente en la muestra se mide manométricamente.

2.13.3. Métodos especiales

Se basan en un acercamiento al equilibrio. Cuando este no es factible de alcanzar en ciertos tipos de muestras, se puede utilizar un procedimiento de interpolación, en el cual las muestras de un alimento de peso y humedad conocidos son expuestos a varias humedades relativas por un tiempo corto. Se determina la pérdida o ganancia de peso y por interpolación se establece la humedad relativa de la muestra.

2.14. Clasificación de isothermas y modelos matemáticos para su ajuste

Las isothermas de sorción son generalmente clasificadas de acuerdo a su forma en cinco diferentes tipos (I, II, III, IV y V) (Brunauer *et al.*, 1940). Las curvas tipo I son convexas hacia arriba mientras que las curvas del tipo II son cóncavas hacia arriba. Las isothermas del tipo III, IV y V muestran uno o más puntos de inflexión.

Los modelos empleados para describir las isothermas suelen ser clasificados en función del número de parámetros de ajuste. De este modo, los modelos de dos parámetros son más sencillos, pero tienen la desventaja de ser más restringidos en un determinado rango de actividad de agua y en los tipos de isothermas que presentan los productos alimentarios (fundamentalmente de tipo II y III, según la clasificación de Brunauer *et al.*, 1940). Además, no consideran de forma adecuada la influencia de la temperatura, lo que dificulta la interpretación física de los valores de los parámetros obtenidos.

Algunas de las ecuaciones consideran el efecto de la temperatura, por ejemplo la ecuación modificada de Chung-Pfost, la ecuación modificada de Henderson, la ecuación modificada de Halsey, la ecuación modificada de Oswin y la ecuación de GAB. Estos modelos han sido adoptados como ecuaciones estándares por la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos para describir las isotermas de sorción. (Yan, Sousa-Gallagher y Oliveira, 2008). Chirife e Iglesias (1978) hicieron una revisión de los diferentes modelos que aparecen en la literatura, clasificándolos en lineales y no lineales (Schmalko y Alzamora, 2005).

De los diferentes modelos de tres parámetros propuestos en la bibliografía destacan dos modelos por su capacidad de ajuste o bien por las bases teóricas de las que deriva aportando significado físico a los parámetros del modelo. Las ecuaciones de BET y GAB proporcionan el contenido de humedad de la monocapa y pueden considerarse como las ecuaciones más empleadas para determinar las condiciones de humedad óptimas para lograr una buena estabilidad en el almacenamiento, especialmente para alimentos deshidratados.

El modelo de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) basado en un modelo cinético es reconocido como el más versátil y es ampliamente utilizado proporcionando resultados satisfactorios para un gran número de productos alimentarios, pero esta ventaja desaparece debido a que tan solo los valores de cada uno de los parámetros tienen un rango de validez para que posean un significado físico y, en algunas ocasiones, cuando el ajuste de los datos

experimentales se aplica a isothermas tipo III el modelo aporta resultados pobres.

Otro modelo de cuatro parámetros más simple y sin demasiada complejidad a la hora de realizar el ajuste por regresión no lineal destaca el modelo semiteórico propuesto por Peleg (1993) que ha sido aplicado con éxito a todo tipo de isothermas. Algunos de los modelos matemáticos usados en la industria alimentaria, como ecuaciones para ajustar las isothermas de sorción de humedad se muestran en el Cuadro 6, cuya utilidad dependerá del objetivo de estudio (Labuza, 1976).

Cuadro 6. Modelos matemáticos más utilizados para ajustar las isotermas de sorción de humedad en los alimentos.

Modelo matemático	Fundamento	Aplicación
Oswin $M = k_1 (a_w / 1 - a_w)^n$	Serie matemática para expansión de curvas sigmoidales	Alimentos almidonosos, arroz, carne y proteína. $a_w = 0.10-0.80$
Bradley $\ln(1/a_w) = K_2 K_1^M$	Se basa en la teoría de la polarización para la formación de monocapa	Alimentos almidonosos y con proteínas $a_w = 0.05-0.95$
Caurie $\ln M = \ln A - R a_w$	Desarrollada mediante manipulaciones matemáticas	Mayoría de los alimentos $a_w = 0.0-0.85$
Henderson $1 - a_w = \exp(-KM)^n$	Relaciona a_w y la cantidad de agua adsorbida	Alimentos almidonosos, harina de trigo, maíz, pollo, proteína de pescado y arroz. $a_w = 0.10-0.80$
Smith $M = MB - MA \ln(1 - a_w)$	La porción final de las isotermas de biopolímeros fueron cercanamente descritas por la ecuación	Biopolímeros y trigo $a_w = 0.50-0.95$
Iglesias y Chirife $\ln(M + M^2 + M_{0.5} = B a_w + P)$	Se basa en el análisis del fenómeno de sorción en alimentos ricos en azúcares	Alimentos ricos en azúcar, frutas y proteínas $a_w = 0.10-0.80$
Kuhn $M = A / \ln a_w + B$	Se basa en la teoría de Khun sobre el análisis del fenómeno de sorción	Alimentos almidonados, lácteos y carnes. $a_w = \text{mayor de } 0.32$
BET $\frac{a_w}{M(1 - a_w)} = \frac{1}{MoC} + \frac{(C-1)a_w}{MoC}$	Da un valor estimado del valor de monocapa de agua absorbida por un material (agua ligada a sitios polares específicos en sistemas de alimentos deshidratados)	Mayoría de los alimentos $a_w = 0.05-0.45$
$\frac{W}{W_m} = \left(1 + \frac{CKa_w}{ka_w}\right) \left(1 + \frac{CKa_w}{Ka_w + CKa_w}\right)$	Extensión y representación general del modelo de BET, tomando en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región de multicapa	Mayoría de los alimentos $a_w = \text{mayor de } 0.09$
Peleg $m = A a_w^c + B a_w^d$	Modelo de cuatro parámetros, usando una expresión potencial doble, que mostro ser superior que la isoterma de GAB	Agar, carragenina, gelatina, pectina de bajo metoxilo, salvado de trigo, pasas, y caseína

Fuente: Iturbide, 1987 y Bouquet, *et. al* 1978.

2.15. Rehidratación de alimentos

La mayoría de los productos deshidratados son usualmente rehidratados durante su uso. La rehidratación puede ser considerada como una medida de la lesión ocasionada por la deshidratación tanto celular como estructuralmente y los tratamientos previos a la deshidratación. La rehidratación de productos deshidratados está compuesta de tres procesos simultáneos: la inhibición de agua dentro del material seco; el aumento y lixiviación de solubles. Jayaraman, Das Gupta y Babu Rao (1990) observaron la separación y ruptura celular irreversible, resultando en pérdida de integración y por lo tanto una estructura densa y colapsada, capilares enormemente encogidos con reducción de propiedades hidrofílicas, como un reflejo de la inhabilidad para absorber suficiente agua para rehidratarse completamente. Estudios sobre el aumento en volumen de semolina y semillas de soya mostraron que la temperatura de rehidratación afecta el aumento en volumen (Fan, Chun y Schellenberger, 1962).

2.16. Color

El color y la textura del producto son de gran importancia para el consumidor (como criterio de calidad del producto) definiendo la aceptabilidad de los productos frutihortícolas deshidratados. Los tratamientos fisicoquímicos aplicados a los hongos afectan dichas variables. Se ha reportado que los tratamientos mediante calor afectan el color y la textura de varios productos como tofu y leche (definida como "paneer"), banana y papas. Sin embargo, los pretratamientos en el secado, es decir, el escalde y sulfitación afectan la

calidad de los productos secos. Las temperaturas de escalde comúnmente empleadas en la industria (90-100 °C) pueden dañar considerablemente el tejido ablandándolo; mientras que la sulfatación ocasiona retención de color. Los cambios de color durante el secado son frecuentemente observados en la forma de obscurecimiento causada por las reacciones enzimáticas o no enzimáticas entre los carbohidratos y los aminoácidos a una elevada temperatura; siendo uno de los mayores problemas asociados al procesamiento y almacenamiento de los productos (Chaves y Avanza, 2006).

Kotwaliwale *et al.* (2007); realizaron un estudio para estimar los cambios en textura y color de hongos durante el secado además estimaron el efecto de la temperatura de secado y pretratamientos en estos parámetros. Encontraron que ambos procesos afectan la textura y las propiedades ópticas. La dureza y la masticabilidad de los hongos se incrementa mientras la cohesividad y la elasticidad incrementa inicialmente y decrece en las subsecuentes etapas de secado. Las altas temperaturas de secado ocasionan dureza en los hongos secos mientras la cohesividad disminuye. El escaldado de hongos deteriora el color y la textura. Sin embargo, los hongos después del escalde pueden recobrar el color durante la deshidratación

La evaluación del grado de alteración del color en un alimento puede ser realizada de diferentes formas. Una de ellas es el uso de paneles sensoriales que refleja la percepción visual y la aceptación del producto. El control de calidad que se lleva a cabo en las industrias en forma rutinaria exige una

respuesta más rápida y directa, substituyendo la evaluación humana por análisis químicos y calorimétricos (Reis *et al.*, 2006).

El pardeamiento durante el secado de alimentos ha sido evaluado para distintos materiales a través de las medidas Hunter L, a, b o bien, a través del cálculo de diferentes parámetros como: Croma (H), Diferencia total de color (ΔE) o a través del índice de pardeamiento (BI). Dependiendo de las características del producto frutihortícola, será conveniente la utilización de uno u otro. (Palou *et al.*, 1999). El sistema de coordenadas CIEL*a*b* y Hunter son los de mayor importancia para medida instrumental. De acuerdo con los conceptos del CIE, el ojo humano posee tres receptores de color (rojo, verde y azul) y todos los otros colores son combinaciones de estas. El método propuesto por CIE y definido en 1976, se basa en un espacio tridimensional de modo que cada color es representado por el único punto en ese espacio. Y está definido por las coordenadas L* a* b*, donde L* representa la luminosidad en una escala de 0 (negro) a 100 (blanco); a* representa una escala de tonalidades de rojo (0+a) a verde (0-a) y b* representa una escala de tonalidades de amarillo (0+b) a azul (0-b).

2.17. Importancia del análisis sensorial

La principal función del análisis sensorial es estudiar y traducir los deseos y preferencias de los consumidores en propiedades tangibles y bien definidas para un producto dado. Este factor ha hecho del análisis sensorial el principal instrumento para el desarrollo de nuevos productos alimenticios y además; el

principal elemento económico de éxito en una compañía. Finalmente la evaluación sensorial contribuye para resaltar los aspectos positivos y negativos de un producto, adaptándolo para responder mejor al gusto de los consumidores (Caballero *et al.*, 2003).

El análisis sensorial es empleado potencialmente en los siguientes aspectos:

1. Describir los estímulos sensoriales de una comida en el orden en el que se experimentan. A menudo es importante conocer el orden en que cada percepción aparece
2. Evaluar la calidad y la intensidad de los estímulos comparándola con experiencias anteriores
3. Establecer un "mínimo de calidad" en la comida verificando la ausencia o presencia de defectos
4. Evaluar las diferencias de intensidad de un estímulo en varias muestras
5. Evidenciar las posibles variantes en los perfiles sensoriales relacionadas con la variedad, procedencia geográfica, tecnología y vida del producto
6. Emitir un juicio para clasificar los alimentos como productos con Denominación de Origen (D.O.)
7. Encontrar características específicas de acuerdo a las preferencias del consumidor
8. Evaluar en términos sensoriales las diferencias entre las preferencias de los consumidores reales y los potenciales (IFT, 1975).

2.17.1. Definición de Evaluación Sensorial

Disciplina científica que evoca, mide, analiza, e interpreta características de alimentos o productos, tales como son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, oído y tacto (Hernández, 2007).

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos u otros materiales por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus*, que quiere decir *sentido* (Anzaldúa, 1994).

El análisis sensorial es la disciplina que obtiene, mide, analiza e interpreta las reacciones del ser humano al percibir mediante sus sentidos características de la comida. De hecho un gran número de sensaciones percibidas a través de nuestros sentidos (provenientes de nuestro organismo o de nuestro entorno) sólo esperan interactuar con nuestro sistema central de funciones intelectuales y de control, esto es, nuestro cerebro (IFT, 1975).

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, o sea: sus cinco sentidos. Los análisis sensoriales tienen gran importancia en muchos campos, para mejorar la calidad de los productos a través del proceso de desarrollo, para describir las propiedades sensoriales de los productos, y para comparar los productos con

los de los competidores. Por lo anterior las pruebas sensoriales son utilizadas en diversos tipos de industrias, tales como la industria alimentaria, la perfumería, la farmacéutica, la industria de pinturas y tintes.

2.17.2. Pruebas discriminativas

Históricamente las Compañías de Alimentos han desarrollado paneles para pruebas discriminativas con el propósito de determinar si son o no percibidas las diferencias existentes entre dos muestras. Estos paneles han sido empleados para minimizar innecesariamente (y costosamente) pruebas hedónicas o de aceptación; las cuales no son realmente percibidas como diferentes por los consumidores promedio.

La revisión de literatura revela que la mayoría de los paneles para discriminación han sido desarrollados para pruebas de sabor, aroma y textura de alimentos. En 1972 se desarrollaron paneles de discriminación para pruebas de fragancias en productos domésticos. Estos paneles normalmente daban resultados confiables y validos. Basado en esta experiencia exitosa. Decidieron expandir este programa para incluir pruebas de discriminación de esmaltes y toallas.

El procedimiento general para la selección y entrenamiento de jueces calificados para pruebas de discriminación estuvieron disponibles pero para las intenciones de aplicación de las técnicas de discriminación, un número de factores adicionales tuvieron que ser considerados (Bressan y Behling; 1977).

Las pruebas discriminativas se usan para determinar si existe diferencia. Las pruebas discriminativas son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que desea establecer si hay o no similitud entre dos o más muestras, y en algunos casos, la magnitud o importancia de esa diferencia (Stone, 1992; Anzaldúa, 1994).

Estas pruebas son muy usadas en control de calidad para evaluar si las muestras de un lote están siendo producidas con una calidad uniforme, si son comparables a estándares, etc. Así mismo por medio de ellas se puede determinar el efecto de modificaciones en las condiciones del proceso sobre la calidad sensorial del producto, las alteraciones introducidas por la sustitución de un ingrediente por otro, etc.

Las pruebas discriminativas más comúnmente empleadas son las siguientes:

- Prueba de comparación apareada simple
- Prueba triangular
- Prueba dúo.trío
- Prueba de comparaciones apareadas de Scheffé
- Prueba de comparaciones múltiples
- Prueba de ordenamiento

2.17.2.1. Prueba triangular

La prueba triangular es una de una serie de pruebas tríadicas. Tres alimentos estímulo son presentados a los jueces, de los cuales dos son iguales y uno es ligeramente diferente. El juez es requerido para indicar la muestra extraña o diferente. En algunas versiones de prueba, al juez se le pregunta para indicar cuales son las muestras iguales. Sin embargo esta es una diferencia en el desarrollo de la prueba, lógicamente son la misma muestra, pero psicológicamente ellas pueden ser diferentes (O'Mahony; 1995).

2.17.3 Prueba de similaridad

En el diseño de pruebas de similaridad se debe definir que constituye una diferencia significativa, al seleccionar un valor para p_d y un riesgo β pequeño, para asegurar una probabilidad pequeña de dejar pasar esa diferencia, si realmente existe. Se permite que el riesgo α se haga grande para conservar el número de jueces dentro de un número razonable. En este caso se seleccionan los valores de α , β y p_d y se encuentra el número de jueces requeridos para realizar la prueba (Hernández, 2007).

2.17.4. Pruebas secuenciales

El análisis secuencial se emplea tanto para seleccionar panelistas como para detectar diferencias en productos o tratamientos al graficar los juicios correctos contra el total de juicios, se obtienen áreas de rechazo, de indecisión y de aceptación para decidir el termino o continuación de la prueba (Meilgaard, 1999).

En las pruebas secuenciales los valores de α (probabilidad de concluir que existe una diferencia perceptible cuando no existe) y β (probabilidad de concluir que no existe una diferencia perceptible cuando existe) (ISO 16820:2004 (E)) son determinados con anticipación, las pruebas secuenciales dan una aproximación para evaluar simultáneamente tanto la diferencia como la similaridad entre las dos muestras

Las pruebas secuenciales tienen la ventaja de ser eficientes y practicas; ya que toman en consideración la posibilidad de que la evidencia derivada de las primeras evaluaciones pueda ser más que eficiente (para valores fijos de α y β) para inferir una conclusión; además las pruebas secuenciales pueden reducir el número de evaluaciones requeridas hasta en un 50%. El enfoque secuencial puede ser usado con pruebas que demuestren la existencia de una diferencia, en donde hay una respuesta correcta y una incorrecta, por ejemplo las pruebas triangulares, las pruebas dúo-trío, etc (Hernández, 2007).

2.17.5. Análisis Descriptivo

El Análisis Descriptivo Sensorial puede ser considerado como el primer paso en la caracterización sensorial de un producto alimenticio, generando una terminología determinada (Vilanova, M; 2006; Kälviäinen., Salovaara yTuorila, 2002). Esta metodología proporciona descripciones cuantitativas de los productos basados en las percepciones de un grupo de sujetos calificados (Lee *et al*; 1999).

El Análisis Descriptivo Sensorial muestra como obtener los principales atributos sensoriales. Desde la perspectiva del consumidor, un alimento esta siempre asociado con su nombre, muy a menudo basado en una imagen sensorial previamente definida (Vilanova ; 2006).

El Análisis Descriptivo es empleado en situaciones cuando una caracterización detallada de los atributos sensoriales de un producto o una comparación entre productos es deseada. Estas técnicas son ideales para probar la vida de anaquel, especialmente si los miembros del panel descriptivo son entrenados y consistentes durante el tiempo experimental (Krinsky *et al*; 2006).

En las pruebas descriptivas se trata de definir las propiedades del alimento y medirlas de la manera más objetiva posible. Aquí no son importantes las preferencias o aversiones de los jueces, y no es tan importante saber si las diferencias entre las muestras son detectadas, sino cual es la magnitud o intensidad de los atributos del alimento.

Las pruebas descriptivas por lo tanto, proporcionan mucha mas información acerca del producto que las otras pruebas; sin embargo, son más difíciles de realizar, el entrenamiento de los jueces debe ser más intenso y monitorizado, y la interpretación de los resultados es ligeramente más laboriosa que en los otros tipos de pruebas (Anzaldúa-Morales, 1999).

Ishii y O'Mahony (1987) indicaron que el uso de varios estímulos estándar pueden ser necesarios para definir algunos conceptos sensoriales (Torres y Reitmeier, 2001). De acuerdo a Lawless y Heymann (1998), los términos empleados para la descripción sensorial de los productos pueden ser ortogonales, esto es, no correlacionarse uno con el otro. Civile y Lawnes (1997), indican que una serie de términos en el Análisis Descriptivo puede permitir la diferenciación entre productos. El Análisis Descriptivo trata sobre el uso de descriptores sensoriales; son palabras generalmente asociados a una definición con el objetivo de ayudar a su entendimiento (Gilboreau *et al*; 2006). Cuando el panel ha llegado a un acuerdo en los descriptores; estos comienzan a definir el atributo de estudio más apropiadamente y sugieren referencias para cada uno de los descriptores. Tanto como sea posible los panelistas hacen uso de los productos de referencia que son representativos y muestran un atributo específico como es sugerido por Piggott (1991). Atención específica se a dado a las referencias porque estas pueden ser empleadas para sobrellevar dificultades de comunicación sirviendo de ayuda para disminuir la variabilidad de los jueces, permitiendo la calibración del panel en el uso de la escala de intensidad y ayudar a reducir el tiempo requerido para entrenar un panel (Lee y Chambers, 2006). De acuerdo a Civile y Lawless (1997), una serie de términos en el Análisis Descriptivo pueden hacer la diferenciación entre productos (Torres y Reitmeier, 2001).

Se han realizado varios estudios en donde se ha empleado como herramienta o método sensorial al Análisis Descriptivo Cuantitativo por ejemplo: Ruiz *et al*;

2006; realizaron la caracterizaron sensorial de nopalitos. Caballero *et al*; 2003; trabajaron sobre el Análisis Descriptivo de trigo, maíz y varios cereales “Gofios” de las islas Canarias.

2.17.6. Prueba de aceptabilidad global

Dos de los métodos más usuales en la Evaluación de alimentos por jueces humanos son el perfil sensorial descriptivo y las consultas a consumidores. En el primero un grupo reducido (5-15 jueces) de asesores entrenados evalúan la intensidad de una serie de características sensoriales (acidez, astringencia, dulzor, etc.) de los productos. En el segundo, un grupo representativo (100-300 personas) de la población consumidora evalúa la aceptabilidad del alimento (Izquierdo, 2002). La aceptación o rechazo de un producto puede determinarse en base a atributos sensoriales como sabor, aroma y apariencia. El análisis de aceptación refleja el grado de preferencia de determinado producto por el consumidor. Cuando los datos de aceptación son analizados por técnicas estadísticas univariadas, se asume que todos los consumidores tienen el mismo comportamiento sin considerar la individualidad de cada uno (Reis *et al.*, 2006). El desarrollo y éxito de nuevos productos o mejoramiento de los productos existentes requieren de un completo entendimiento de la evolución de la preferencia de los consumidores (Tang; Heymann y Hsieh; 2000).

Cardello (1994) presentó una serie de estudios de aceptación y también desarrollo un modelo para describir como los consumidores evalúan el producto. Bárcenas *et al* (2001); estudiaron la preferencia de los consumidores

en varios quesos españoles y la relación entre los atributos sensoriales y la preferencia por los consumidores (Vilanova; 2006). Xuguang y Fu-Hung (2005) estudiaron la preferencia de consumo de pera. Así también Caspia *et al.* (2006); estudiaron la aceptabilidad del queso cheddar. etc.

2.18. Análisis Microbiológico

Es necesario recordar que el requisito fundamental de cualquier alimento es su inocuidad o seguridad; en un sentido más amplio significa que en el momento de su consumo esté libre de cualquier contaminante químico o microbiano (Fennema, 2000). El control de la calidad sanitaria de los alimentos encuentra un valioso apoyo en los análisis microbiológicos. Si bien la inspección a los sitios de fabricación, almacenamiento, preparación, expendio e incluso a los transportes de alimentación son parte fundamental en los programas de control, no es posible, en la mayoría de los casos, tomar una decisión ante un problema específico, sin un reporte de Laboratorio. A través de estos análisis se ponen de manifiesto riesgos, en ocasiones muy serios para la salud, inadvertibles aún a la más rigurosa inspección. Los datos proporcionados por los análisis, sin embargo, sólo son útiles si se cumplen tres condiciones esenciales.

- La muestra colectada y utilizada en el análisis es representativa e idónea.
- La técnica de análisis es ejecutada con estricto apego a la metodología establecida en cada caso particular.
- Existen normas o estándares de calidad para las pruebas empleadas.

Las técnicas que se emplearon en los análisis microbiológicos han sido utilizadas durante muchos años en el Laboratorio Nacional de Salubridad. Proviene en la mayoría de los casos, de las recomendaciones hechas por el Comité Internacional sobre Especificaciones Microbiológicas para el Análisis de Alimentos, conscientes de la importancia de lograr la máxima uniformidad en la metodología utilizada entre todos los países (SSA, 1975).

2.18.1. Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias

Cuando se pretende investigar el contenido de microorganismos vivos en un alimento la técnica más comúnmente utilizada es el recuento en placa. Esta técnica se aplica para una gran variedad de microorganismos y su fundamento consiste en contar las colonias que desarrollan en el medio de elección después de cierto tiempo y temperatura de incubación presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo en la muestra bajo estudio. El método admite numerosas fuentes de variación, algunas de ellas controlables, pero sujetas a la influencia de varios factores.

En realidad esta técnica no pretende poner en evidencia todos los microorganismos presentes. La variedad de especies y tipos diferenciables por sus distintas necesidades nutricionales, temperatura requerida para su crecimiento, oxígeno disponible, etc., hacen que el número de colonias contadas constituya una estimación de la cifra realmente presente. No obstante, la ejecución de la técnica cuando se siguen fielmente las condiciones que se

señalan para su desarrollo pueden llegar a ser lo bastante reproducibles para darle significado a los resultados que se obtengan (Pascual y Calderón, 2000).

2.18.2 Cuenta de organismos coliformes

En este grupo de microorganismos se incluyen bacilos Gram negativos, aerobios, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas dentro de 48 horas cuando se incuban a 32-35 °C. Una variedad de bacterias, muy abundante y siempre presente en la materia fecal del hombre y animales superiores satisface la definición anterior, también pertenecen a este grupo ciertas bacterias propias del suelo y los vegetales. La interpretación del hallazgo y abundancia de los microorganismos coliformes no tiene un carácter universal. En tanto en el agua, en términos generales, se considera que su presencia revela una exposición reciente a la contaminación fecal, su significado no es lo mismo en el caso de la leche, sustrato en el cual son capaces de desarrollar muy activamente. En algunos tipos de quesos, incluso, números elevados de estos microorganismos no guardan necesariamente relación con los antecedentes de manejo higiénico del producto y su presencia carece de significado sanitario.

La demostración y el recuento de organismos coliformes pueden utilizarse mediante el empleo de medios sólidos que favorecen selectivamente y los diferencian de los microorganismos con los que suelen encontrarse asociados en los alimentos, o bien recurriendo a tubos de fermentación que contengan caldo lactosa y computando su número con base a las tablas de número más

probable (NMP). El criterio para seleccionar uno u otro procedimiento depende primariamente de la densidad de gérmenes que se espera encontrar siendo en algunos casos necesario considerar la composición y la naturaleza del alimento que se va a examinar, el uso del caldo lactosado o del caldo lauril triptosa como medio presuntivo resulta muy ventajoso cuando se examinan alimentos con número exiguo de estas bacterias que por otra parte, pueden encontrarse en condiciones de vitalidad mermada debido al efecto subletal del calor y otros agentes durante la fabricación del producto (SSA, 1975; Pascual y Calderón, 2000).

2.18.3. Cuenta de microorganismos coliformes fecales

Dentro del grupo de los organismos coliformes están incluidas una gran variedad de bacilos Gram negativos cuyo hábitat y fuente de contaminación a los alimentos es muy variable, desde aquellos que provienen de la materia fecal del hombre y animales, hasta aquellos propios del suelo y vegetales. Con el propósito de correlacionar más estrechamente un grado de riesgo a la salud con el hallazgo de algún grupo de microorganismos de laboratorio, se ha logrado disponer de una técnica que permite con razonable seguridad diferenciar los organismos coliformes fecales de los restantes que incluye el grupo genérico. Al practicar la prueba en el laboratorio, es indispensable un estricto control de la temperatura del baño durante la incubación a fin de evitar falsos negativos (por excederse en la temperatura) o falsos positivos (por utilizar temperaturas más bajas) (SSA, 1975; Pascual y Calderón, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Estrategia experimental

El trabajo experimental se inició mediante el desarrollo de pruebas preliminares orientadas a determinar la temperatura de deshidratación, a la cual el huitlacoche conservara sus características sensoriales. Las temperaturas experimentales de exploración fueron 80, 70 y 60 °C. Siendo la de 70 ± 2 °C la que permitió conservar los atributos sensoriales de mejor manera. Una vez definidas las condiciones de operación, se procedió a describir el comportamiento del huitlacoche sometido a deshidratación, a través del estudio de las cinéticas de secado y de los cambios de algunos parámetros fisicoquímicos (pH y color). La estabilidad del producto deshidratado se evaluó a través del estudio de las isothermas tanto de sorción y como de desorción. Asimismo, se evaluó la estabilidad del producto deshidratado en condiciones de temperatura ambiente, aproximadamente a 25 °C, sometido a diferentes grados de saturación del ambiente, es decir a diversas actividades de agua. Dicho estudio se complementó con la identificación de los agentes biológicos contaminantes observados. Cabe señalar que el material empleado en la elaboración de la sopa deshidratada permaneció en almacenamiento (refrigeración a 5 °C) hasta su utilización, lo cual fue por un periodo de aproximadamente 5 meses.

En la segunda fase del trabajo se realizó la formulación y elaboración de sopas empleando huitlacoche fresco y deshidratado; así como su evaluación mediante pruebas sensoriales orientadas a evaluar la similaridad entre ambas sopas. Dado que las sopas resultaron no ser similares posteriormente se llevó a cabo la selección de un panel descriptivo mediante un análisis secuencial con pruebas triangulares, el cual permitió llevar a cabo la descripción y comparación de perfiles de las dos sopas de huitlacoche. Además se analizó el grado de aceptación del producto por tres diferentes poblaciones: Cuautempan, Puebla; Texcoco y Chapingo, Estado de México. Finalmente se realizaron también pruebas microbiológicas tanto del huitlacoche deshidratado como de las sopas elaboradas con huitlacoche fresco y deshidratado.

3.2. Material Experimental

Las muestras de huitlacoche desgranado (Figura 11) utilizadas en el experimento, fueron adquiridas en la Central de Abastos de Iztapalapa de la Ciudad de México.



Figura 11. Huitlacoche adquirido en la Central de Abastos.

Debido a que las agallas de huitlacoche presentaban una forma irregular la muestra fue reducida de tamaño manualmente con el objetivo de obtener mayor homogeneidad (Figura 12).

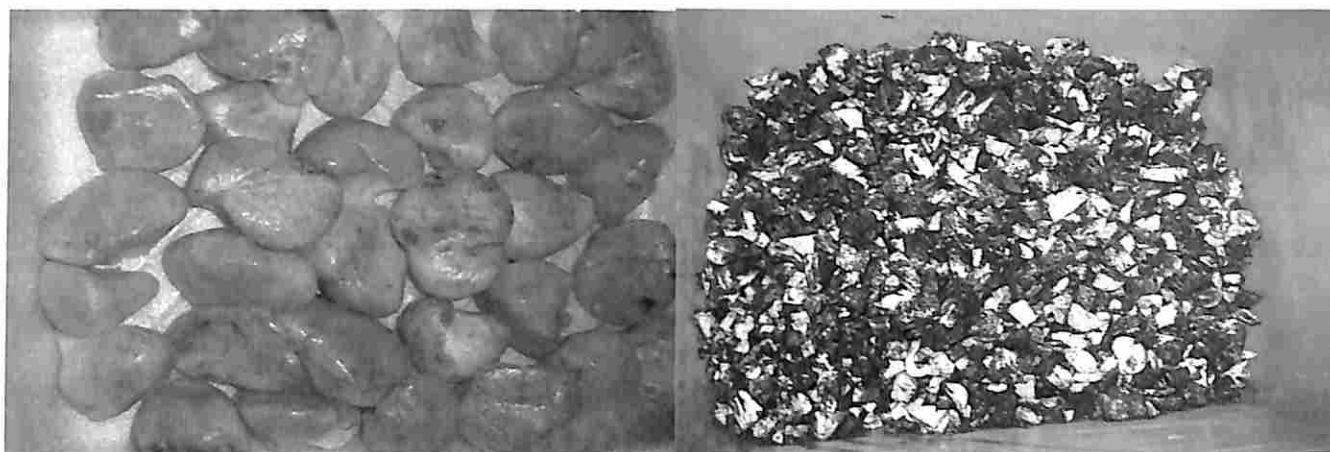


Figura 12. Material experimental empleado en el proceso de deshidratación por convección.

3.3. Deshidratación de huitlacoche

El proceso de secado por convección fue el medio para obtener las cinéticas e isothermas de desorción y sorción para huitlacoche. En ambos casos se obtuvieron por triplicado (Figura 13).

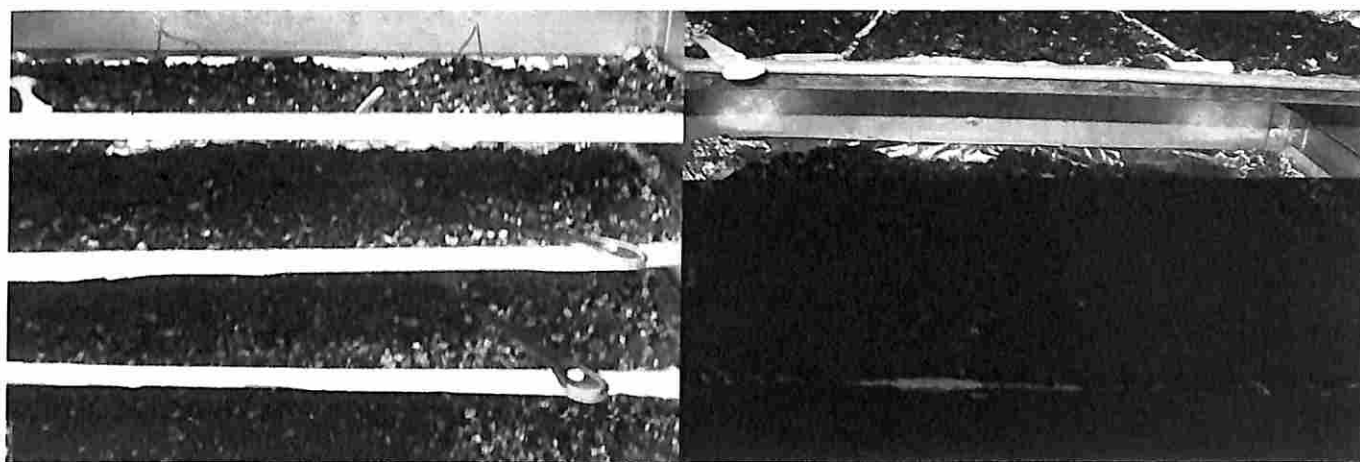


Figura 13. Deshidratación de huitlacoche mediante convección a 70 ± 2 °C.

3.3.1. Características del deshidratador tipo gabinete

El secador empleado en la obtención de las cinéticas de secado e isotermas, presentaba las siguientes características: una cabina aislada de aproximadamente 1.55*0.98*0.50 m, provista de un ventilador acoplado a un motor de 124 W (1/6 Hp), para circular el aire; el aire era calentado por medio de un quemador a gas butano de 1.43 m de longitud; con encendido electrónico. El aire caliente salió por ocho conductos (4.6 cm de diámetro) y era dirigido horizontalmente entre las bandejas cargadas de alimento. El secador disponía de interruptores para corriente, un transformador de ignición, electrodos para encendido, válvula solenoide, un termómetro con rango de 0-150 °C y un termostato de 0-120 °C. El deshidratador constaba de dos compartimentos con ocho charolas (60*48 cm) cada uno. Una descripción más detallada del equipo se encuentra en el trabajo reportado por Illescas, (2001).

3.3.2. Cinética de secado

Para la obtención de las cinéticas de secado (Figura 14) se pesaron 1650 gramos de huitlacoche; posteriormente se depositaron en charolas de aluminio (largo = 65 cm, ancho = 45cm y altura = 2.5 cm). Se tomó una muestra por triplicado del huitlacoche fresco para determinar el contenido de humedad mediante una estufa de secado (AOAC., 1990); se registró el contenido de humedad inicial. Se encendió el deshidratador tipo gabinete y la temperatura de secado se ajustó a 70°C $\pm$ 2°C). El deshidratador contaba con dos pequeños orificios en la parte superior para suspender la charola o bandeja, a una balanza digital; la cual permitió determinar la pérdida de peso de las

muestras deshidratadas con base en la temperatura experimental; se registró el peso de la muestra durante aproximadamente 540 minutos; cada tres minutos hasta los 180 minutos, cada 5 minutos del minuto 180 al 410 y cada 10 minutos del minuto 410 hasta el término del secado. Con los datos obtenidos se construyó la curva de secado.

Con los datos de humedad en función del tiempo se determinó la humedad crítica mediante el método de apreciación y el método estadístico de acuerdo a lo reportado por Espinosa (1993). En el primer método se determina el cambio de pendiente de la curva y en el segundo se determina a través de una regresión cuadrática y se buscó por eliminación, la humedad en la cual el término cuadrático deja de ser estadísticamente significativo.

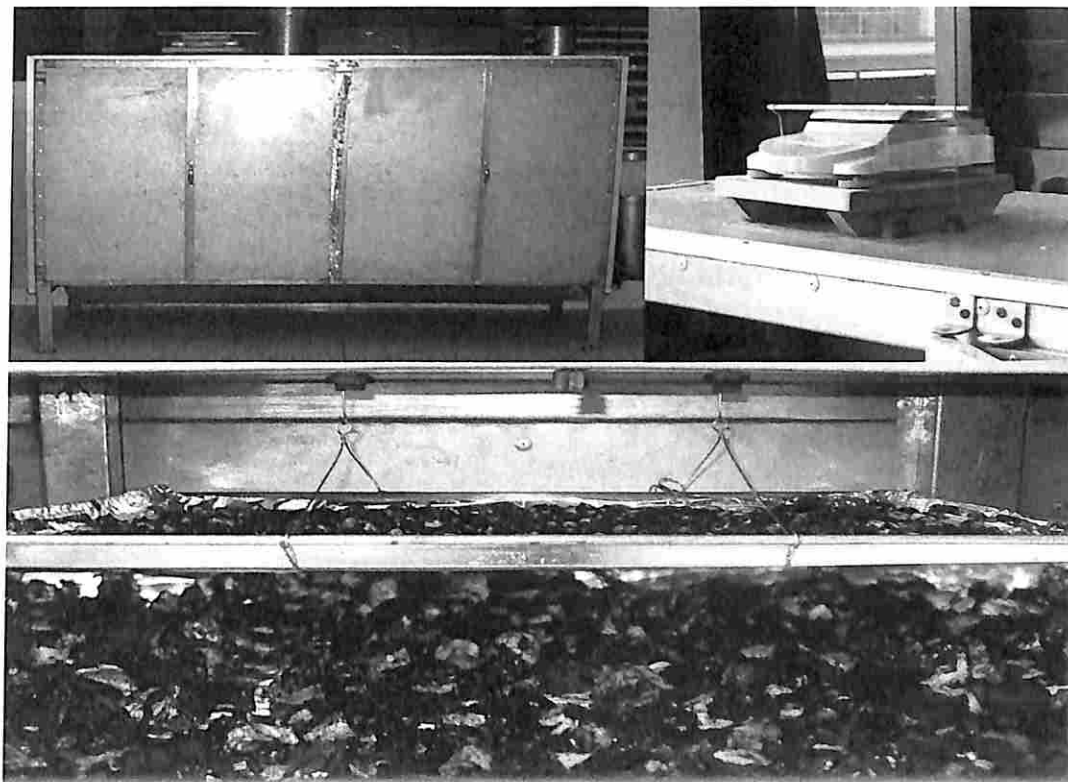


Figura 14. Obtención de la cinética de secado a 70 ± 2 °C.

3.3.3. Medición de pH y color durante el proceso de secado

La medición de los parámetros fisicoquímicos pH y color durante el proceso de secado se obtuvieron en un equipo diferente pero manteniendo condiciones similares de temperatura (Figura 15); debido a que no fue posible tomar muestras durante la obtención de las cinéticas de secado; dado que el proceso se pudo haber afectado.

Se pesaron 920 gramos de huitlacoche finamente cortado; se depositaron y distribuyeron uniformemente 230 gramos en cada una de las cuatro charolas de aluminio (Largo = 23 cm, Ancho = 14 cm y Altura = 4 cm). Para la toma de datos no fue necesario realizar acción alguna; debido a que el secador funciona mediante un sistema operativo Windows 98 o superior; mediante el cual se capturaron y almacenaron los datos experimentales generados durante aproximadamente 11 horas de secado (Figura 16). Finalmente para obtener las cinéticas se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la humedad en base seca; graficando este dato con respecto al tiempo de secado. Las cinéticas fueron obtenidas por triplicado.

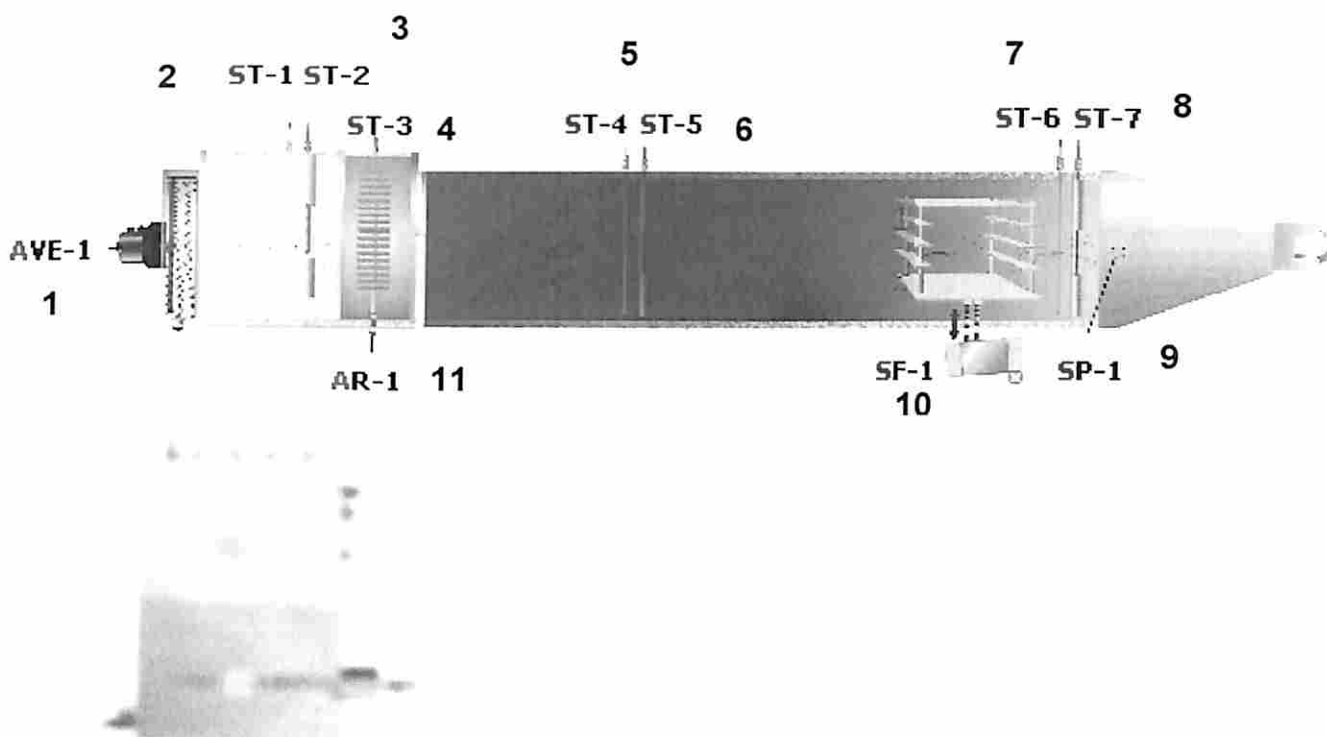


Figura 15. Secador de Bandejas TRAY DRIER DIAGRAM EDIBON, S. A; empleado en el secado de huitlacoche.

- 1.- Ventilador
- 2.- Sensor de temperatura (bulbo seco)
- 3.- Sensor de temperatura (bulbo húmedo)
- 4.- Sensor de temperatura (resistencia del bastidor)
- 5.- Sensor de temperatura (bulbo seco)
- 6.- Sensor de temperatura (bulbo húmedo)
- 7.- Sensor de temperatura (bulbo seco)
- 8.- Sensor de temperatura (bulbo húmedo)
- 9.- Sensor de presión diferencial; caudalímetro de aire
- 10.- Célula de carga
- 11.- Resistencia de bastidor (3000 Kv)



Figura 16. Proceso de deshidratación a 70 ± 2 °C durante la medición de los parámetros fisicoquímicos.

3.3.4. Medición del pH

Se tomaron muestras de 5 gramos de huitlacoche cada 60 min. La muestra fue triturada con la ayuda de un mortero y diluida en 50 mL de agua. Enseguida se midió el valor de pH; mediante un medidor portátil (previamente calibrado con una solución buffer 4 y 7) de pH CONDUCTRONIC Modelo PH10 con una precisión de ± 0.02 (Figura 17).

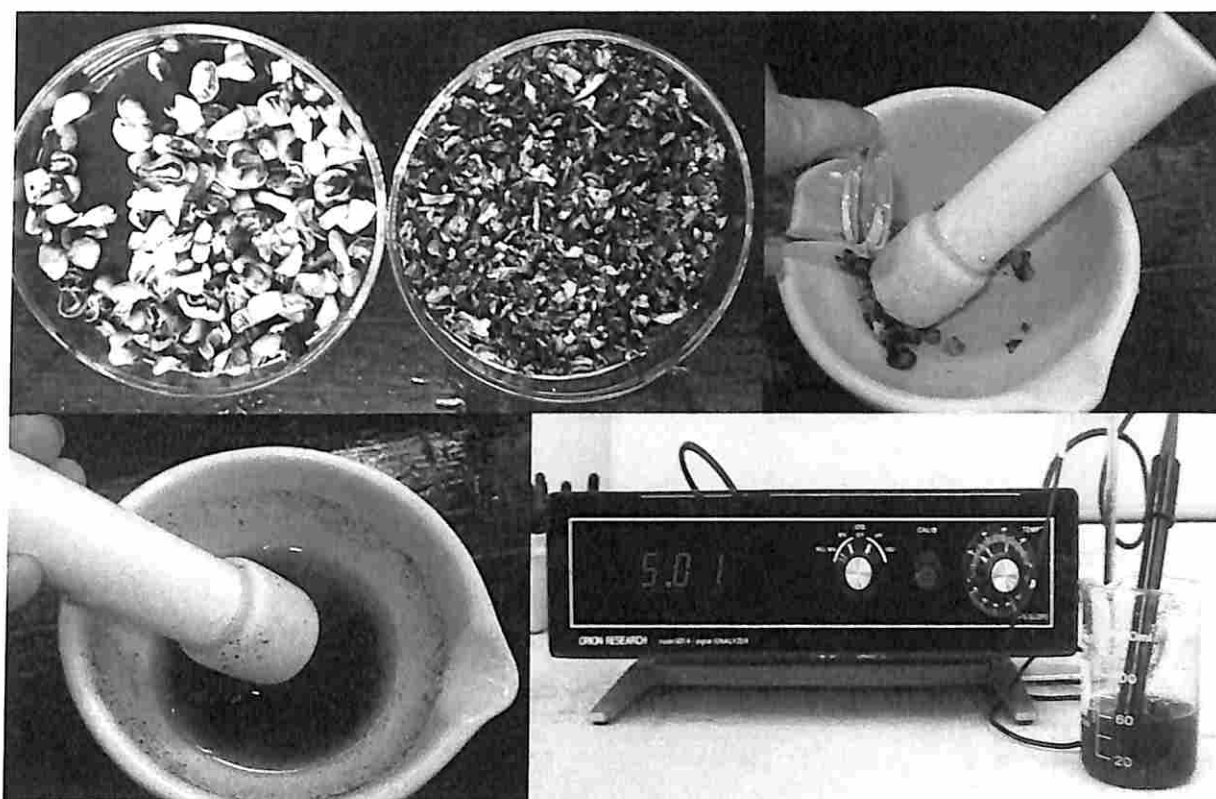


Figura 17. Medición de pH durante el proceso de deshidratación 70 ± 2 °C.

3.3.5. Medición del color

El color del huitlacoche fresco y deshidratado se evaluó por triplicado utilizándose un colorímetro Hunter Lab modelo Mini Scan Xe Plus No. 45/0-L. Se usó la escala CIEL*a*b* (Figura 18). Donde L* nos indica la luminosidad de

la muestra, el 100% representa un color blanco y 0 negro. El valor negativo y positivo de a^* , nos indica una coloración verde a roja, respectivamente. Mientras que el valor negativo y positivo de b^* nos indica una coloración de azul a amarillo. Se usó el iluminante C y ángulo del observador de 10° . Los valores de ambos parámetros oscilan de -60 a +60. Sin embargo, para poder conocer los valores reales de coloración en el huitlacoche. Los valores de a^* y b^* se emplearon para calcular el ángulo de tono (*Hue*) y la pureza del color (*Chroma*) mediante el empleo de las siguientes ecuaciones (Martínez, 2006).

$$\text{Luminosidad} = L^* \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Ángulo de tono} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Pureza de color} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \dots\dots\dots (3)$$

Un valor de Hue de 0° representa un color rojo; 90° amarillo; 180° un color verde y de 270° un color azul.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con un $\alpha = 0.05$.



Figura 18. Medición de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) a los lotes de huitlacoche deshidratado.

3.4. Prueba de vida de anaquel del producto deshidratado

Parte del material obtenido en el proceso deshidratación fue empleado para evaluar el crecimiento de microorganismos a diferentes actividades de agua. Para generar dichas condiciones se emplearon soluciones salinas. Se colocaron 15 gramos de huitlacoche deshidratado en cada recipiente, se cerró herméticamente y se dejó el tiempo necesario hasta que se observó crecimiento de microorganismos en las muestras de huitlacoche. La temperatura a la cual se sometió el material fue la ambiente, la cual estuvo oscilando alrededor de los 25 °C.

Posteriormente se tomaron muestras de cada de huitlacoche y se realizó su observación e identificación en el microscopio y de esta manera conocer que microorganismos se desarrollaron en las condiciones generadas y además corroborar a que actividad de agua del alimento permanece estable (Figura 19). Con la finalidad de identificar los microorganismos asociados al producto deshidratado, se empleó como referencia la clave de Barnett y Hunter (1998) para identificar fases asexuales en hongos.



Figura 19. Soluciones saturadas empleadas para activar el crecimiento de microorganismos a diferentes actividades de a_w .

3.5. Isotermas de desorción

Se pesaron 4.0 kg del material experimental; el cual posteriormente fue depositado y distribuido de manera uniforme en la charola de aluminio (largo = 65 cm, ancho = 45cm y altura = 2 cm). Se encendió el deshidratador de bandejas y se ajustó la temperatura de secado a $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figura 20).



Figura 20. Obtención de isotermas de desorción a $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$. a) Medición de la actividad de agua. b) Determinación de humedad en estufa de secado.

Posteriormente se introdujo la charola con el material al deshidratador; al mismo tiempo se tomó una muestra por triplicado del material fresco para determinar su contenido de humedad, registrándose un contenido de humedad inicial promedio de 88.74% y un a_w inicial de 0.994, llevándose a cabo un muestreo cada 10 minutos, dándole seguimiento durante un período de aproximadamente 13-15 horas. Posteriormente, para cada tiempo de muestreo se determinó la actividad de agua a 25°C mediante el medidor de actividad de agua (AQUALAB Serie 3, Decagon Devices Inc.). Posteriormente se determinó la humedad en una estufa de secado a 70 °C (AOAC., 1990).

3.5.1. Cálculo del valor de monocapa

El cálculo del valor de monocapa se determinó mediante la ecuación de BET, el valor de monocapa (m_0) se evaluó por regresión lineal, graficando $a_w / (1 - a_w)$ m contra a_w , para obtener una línea recta con pendiente (Y) y ordenada al origen (Z), como se muestra en la Figura 21, empleando los datos obtenidos en el intervalo de a_w de 0,05 al valor más bajo obtenido (Fennema, 2000).

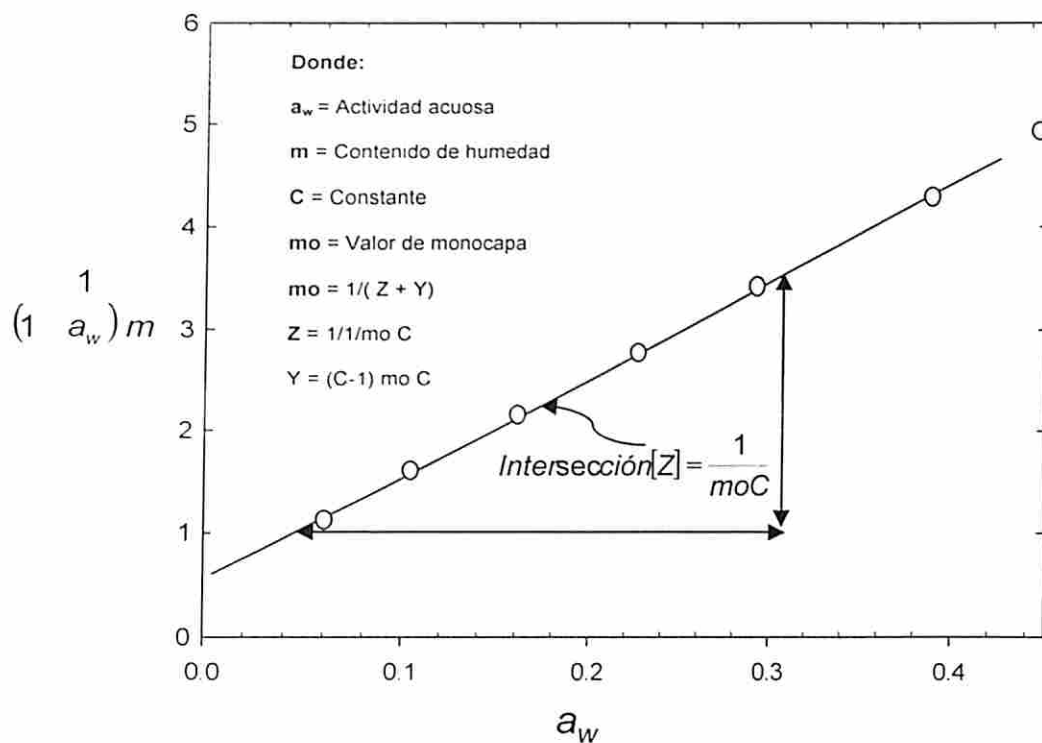


Figura 21. Representación grafica para la obtención del valor de monocapa tomado de Fennema, 2000.

3.5.2. Modelado de las isotermas de desorción mediante las ecuaciones de GAB y Peleg

Se aplicaron los modelos matemáticos de GAB (Ecuación 4) y Peleg (Ecuación 5), para ajustar los datos experimentales de las isotermas y obtener las correspondientes isotermas teóricas, mediante el Paquete Sigma Plot 10.0 (Exact Graphs for Exact Science, 2007).

Los modelos para las isothermas aplicados a los datos experimentales vienen dados por las siguientes expresiones:

Modelo de GAB

$$X_e = \frac{abcaw}{(1-caw)[1+(b-1)caw]} \dots\dots\dots (4)$$

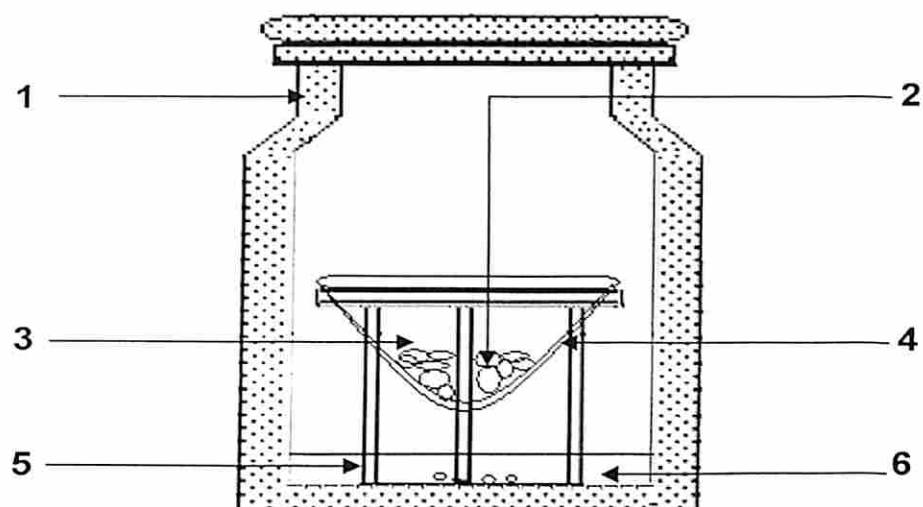
Modelo de Peleg

$$X_e = a(a_w)^b + c(a_w)^d \dots\dots\dots (5)$$

En donde a , b , c y d son diferentes parámetros de ajuste.

3.6. Isothermas de adsorción

Las isothermas de adsorción se obtuvieron con la ayuda del método de Wink (Ortega, 1991) (Figura 22). Así, se emplearon soluciones saturadas de sales inorgánicas enumeradas en el Cuadro 7, las cuales produjeron una presión de vapor constante a una temperatura constante. Este método se caracteriza por ser un método gravimétrico de registro continuo de peso, se basa precisamente en la diferencia de peso debido a la adsorción o desorción de agua que experimenta el alimento al estar en contacto con diversas humedades relativas (Ortega;1991).



- (1) Envase de plástico
- (2) Material experimental
- (3) Papel filtro Whatman ®
- (4) Maya
- (5) Tripie
- (6) Solución salina saturada.

Figura 22. Recipiente empleado en la obtención de isothermas.

Para la preparación de las soluciones salinas se emplearon sales del grado reactivo analítico (REASOL^{MR}); las cuales se prepararon con agua destilada desionizada.

Cuadro 7. Actividades acuosas de las soluciones salinas empleadas^a en la determinación de a_w .

Sal	Temperatura (° C)						
	5	10	20	25	30	40	50
Cloruro de litio	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.112	0.111
Acetato de potasio	-	0.234	0.231	0.225	0.234	0.216	-
Cloruro de magnesio	0.336	0.335	0.331	0.328	0.324	0.316	0.305
Carbonato de potasio	0.431	0.431	0.432	0.432	0.432	-	-
Nitrato de magnesio	0.589	0.574	0.544	0.529	0.514	0.484	0.454
Nitrito de sodio	0.733	0.721	0.699	0.689	0.679	0.661	0.645
Cloruro de sodio	0.757	0.757	0.755	0.753	0.751	0.747	0.744
Sulfato de amonio	0.824	0.821	0.813	0.810	0.806	0.799	0.792
Cromato de potasio	0.877	0.868	0.851	0.843	0.836	0.823	0.812
Nitrato de potasio	0.963	0.960	0.946	0.936	0.923	0.891	0.848
Sulfato de potasio	0.985	0.982	0.976	0.973	0.970	0.964	0.958

Fuente: Greenspan (1977) citado en Rahman (1995).

^a Para obtener humedades estables, deben cumplirse las condiciones siguientes: uso de una sal pura en agua destilada, solución con un área superficial grande y un pequeño espacio de cabeza además de un buen control de la temperatura.

3.6.1. Método para medir actividad acuosa

Las soluciones de trabajo fueron colocadas en recipientes; posteriormente se introdujo un tripie y sobre éste una maya previamente barnizada con silicón transparente (para evitar oxidación); posteriormente se depositó una muestra de 10 gramos de huitlacoche deshidratado sobre un papel filtro circular Whatman ®

de 150 mm de diámetro; colocándose en cada uno de los recipientes que contenían las sales e inmediatamente después de cerro el envase a fin de que la atmósfera del sistema lograra el equilibrio (Figura 23).



Figura 23. Isothermas de adsorción de huitlacoche obtenidas a 16, 25 y 35 °C.

Una vez logrado el equilibrio; los diez gramos de muestra se distribuyeron en tres partes iguales de la siguiente manera: los primeros tres gramos se mantuvieron a una temperatura de 25 °C, los siguientes tres gramos se mantuvieron en una cámara de refrigeración a una temperatura de 16 °C y los tres gramos restantes se mantuvieron a 35°C por 24 horas. Transcurrido el tiempo mencionado se determinó la actividad acuosa de las muestras con el AQUALAB a una temperatura de 25 °C; 16 °C y 35 °C; posteriormente se determinó la humedad del huitlacoche por el método de desecación en estufa a 25 °C; 16 °C y 35 °C por 24 horas (AOAC, 1990). La metodología fue realizada por triplicado.

3.7. Análisis microbiológico

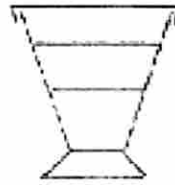
El trabajo se realizó en los Laboratorios de Investigación del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo.

Los análisis microbiológicos a realizar fueron los siguientes:

1. Cuantificación de bacterias mesofílicas aerobias (NOM-110-SSA1-1994, NOM-092-SSA1-1994, SSA, 1975) (Figura 24).
2. Cuantificación de bacterias coliformes totales y fecales mediante la técnica del número más probable (NMP) (NOM-110-SSA1-1994 y NOM-112-SSA1-1994) (Figura 25).

La preparación de la muestra se realizó con base en lo establecido en la NOM-110-SSA1-1994 "Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico".

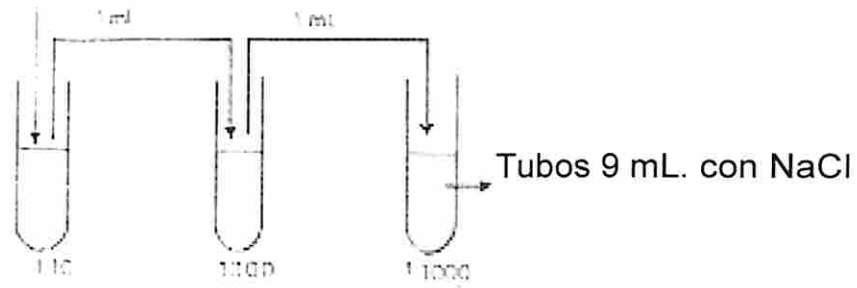
HOMOGENIZADO:



→ 225 mL. de NaCl 1 %

→ 25 g de la muestra

DILUCIÓN:



SIEMBRA:

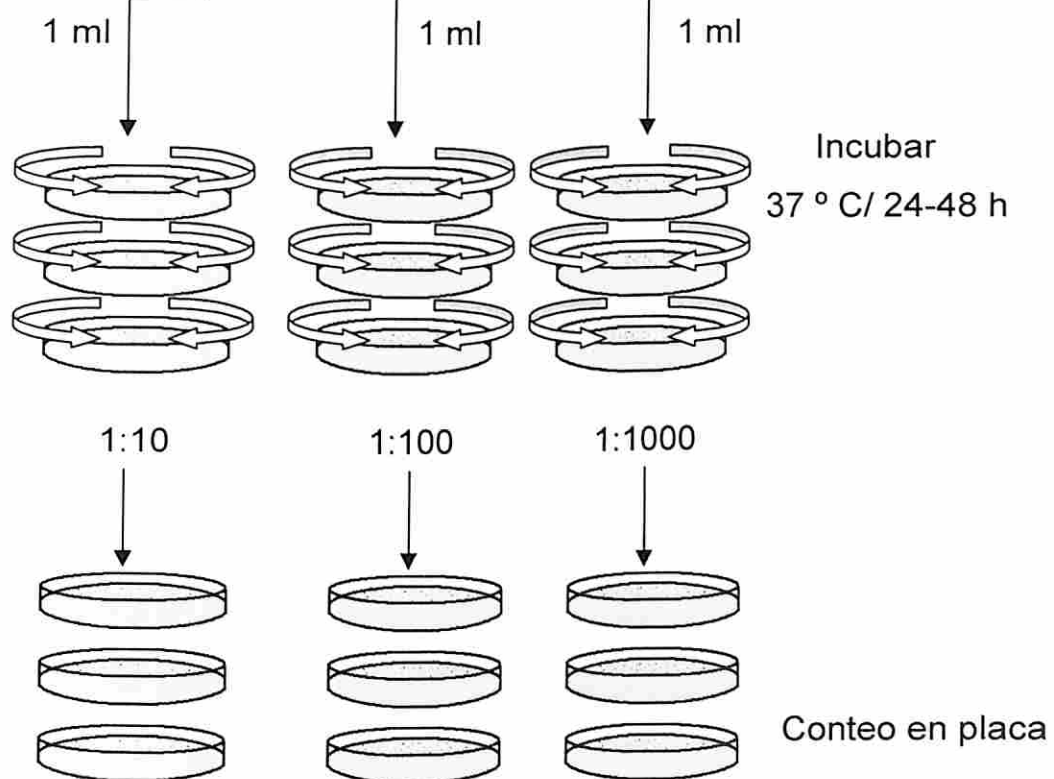
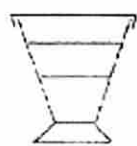


Figura 24. Metodología para la cuantificación de bacterias mesofílicas aerobias.

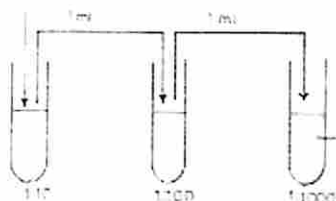
HOMOGENIZADO:



→ 225 mL. de NaCl 1 %

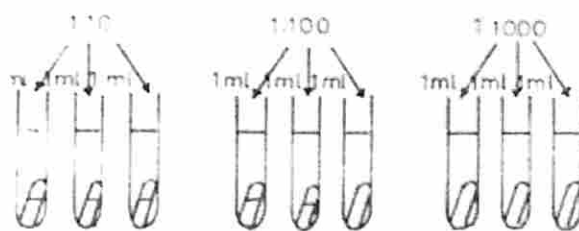
→ 25 g de la muestra

DILUCIÓN:



Tubos 9 mL. con NaCl

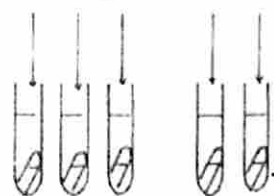
ENSAYO DE PRESUNCIÓN:



→ Incubación
($37 \pm 1^\circ\text{C}$ / 24-48 h)

Caldo lauril sulfato

(+)



→ Incubación
(37°C / 48 h)

Caldo Verde brillante bilis

Prueba de E. coli



Caldo E. coli

(Incubación 44.5°C / 48 h)



EMB

PRUEBAS

IMVIC

Figura 25. Enumeración de bacterias coliformes por el método del número más probable (NMP).

3.8. Huitlacoche Deshidratado

Los lotes de huitlacoche obtenidos durante las pruebas de secado fueron mezclados para conformar un solo lote de huitlacoche deshidratado; el material fue almacenado en bolsas de plástico en un refrigerador a 5°C hasta su uso en el experimento. El almacenamiento se dio por aproximadamente 5 meses. Al lote final se le determinaron la humedad y actividad de agua; registrándose valores de 6.08% y 0.329, respectivamente (Figura 26).



Figura 26. Ingredientes empleados en la elaboración de sopas de huitlacoche.

3.8.1. *Rehidratación del huitlacoche deshidratado*

El material deshidratado fue rehidratado por inmersión en agua caliente a temperatura constante. Se emplearon 90 mL de agua caliente por cada 10 g de material deshidratado (equivalente a 100 g de huitlacoche fresco) (Figura 27).



Figura 27. Comparación entre huitlacoche deshidratado, fresco y rehidratado.

3.9. Elaboración de sopa de huitlacoche

Se consultaron diferentes metodologías sobre la elaboración de sopas. Fue así como se realizaron diversas formulaciones hasta llegar a una aceptable (Figura 28). Se estandarizó la metodología a seguir para elaborarlas. En el Cuadro 8 se muestra la información sobre la formulación para cada una de las sopas.

Cuadro 8. Cantidades de ingredientes adicionados a las sopas de huitlacoche.

Sopa Fresca	Sopa Deshidratada
100 g de huitlacoche fresco	10 g de huitlacoche deshidratado + 90 mL de agua
5.45 g de sazónador disueltos en 375 mL de agua (1 ½ tazas)	5.45 g de sazónador disueltos en 375 mL de agua (1 ½ tazas)
73.75 g de granos de elote	73.75 g de granos de elote
1.25 g de cebolla con sal en polvo	1.25 g de cebolla con sal en polvo
1.5 g de ajo con sal en polvo	1.5 g de ajo con sal en polvo
5 mL de aceite Capullo®	5 mL de aceite Capullo®
1 g de epazote	1 g de epazote

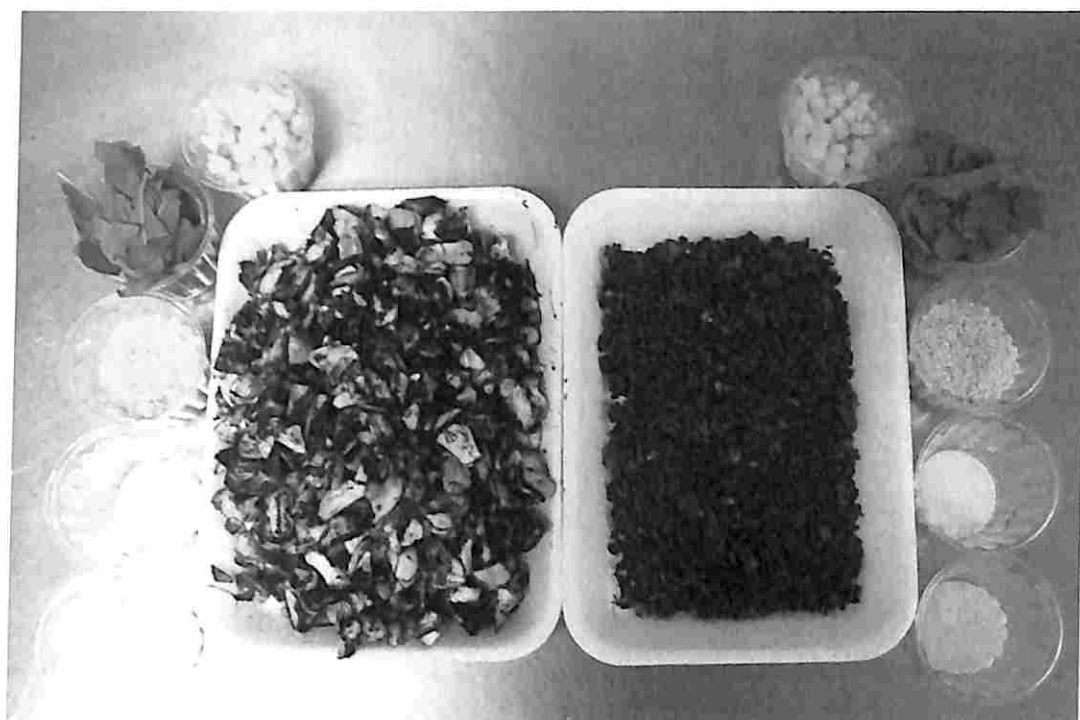


Figura 28. Ingredientes empleados en la elaboración de sopas de huitlacoche.

Preparación:

En un sartén caliente se vertió el aceite, se sofrió el ajo y la cebolla por unos segundos a fuego bajo. Posteriormente se agregaron los granos de elote previamente hervidos y se dejaron sazonar por tres minutos hasta que sus jugos soltaran el hervor. Al mismo tiempo se licuo el huitlacoche con un poco de caldo de pollo para facilitar el trabajo hasta obtener una consistencia tersa y homogénea. Se vertió y dejó hervir por cuatro minutos. Se incorporo el epazote y el resto del caldo de pollo y se dejo hervir a fuego alto durante 15 minutos aproximadamente hasta que se redujo un poco y tomo más cuerpo. Finalmente se retiraron los granos de elote y el epazote (Figura 29).



Figura 29. Elaboración de sopas de huitlacoche deshidratado y fresco.

Forma de presentación

Se sirvieron 20 mL de sopa caliente en vasos de plástico del número 0 a una temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, la presentación variaba de acuerdo al objetivo de la prueba efectuada.

3.10. Análisis Sensorial

3.10.1. Prueba de similaridad

Se realizó una prueba triangular (Anexo 1) para similaridad en sopas, una elaborada con huitlacoche fresco y otra con huitlacoche deshidratado empleando valores de $\alpha = 0.2$ (probabilidad de aceptar una diferencia, cuando en realidad no existe), $\beta = 0.05$ (probabilidad de aceptar que no existen diferencias, cuando en realidad existen) y un p_d (proporción de discriminadores) del 30 %. Para ello, se formularon las siguientes hipótesis:

Ha: La sopa deshidratada se percibe similar a la sopa elaborada con huitlacoche fresco.

Ho: Existe diferencia entre la sopa deshidratada y la sopa elaborada con huitlacoche fresco.

3.10.2. Análisis secuencial

Para la selección de un panel descriptivo se realizó el análisis secuencial. Los parámetros establecidos fueron $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.1$ y la proporción de la población que puede discriminar entre sopas (p_d) 40 % con pruebas triangulares de acuerdo al método descrito por Meilgaard (1999), el cual permitió llevar a cabo la descripción de las dos sopas de huitlacoche.

3.10.3. Análisis Descriptivo

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar, y describir las características sensoriales de sopas de huitlacoche. La metodología que se siguió fue la del Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA).

3.10.3.1. Panel Descriptivo

El panel Descriptivo estuvo compuesto por 9 jueces (estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo; 4 mujeres y 5 hombres, con un rango de edad de 21 a 30 años), quienes recibieron un entrenamiento intensivo durante 15 sesiones (38 horas aproximadamente) (Figura 30). En la primera sesión los panelistas degustaron individualmente las dos muestras (sopa fresca y deshidratada), estas fueron previamente codificadas; se les pidió que emplearan sus sentidos para describir los atributos percibidos.

Con base en su orden de aparición se comenzaron a generar atributos; reduciéndose de 20 a 14 al linearizar el concepto de cada uno. En las siguientes sesiones el panel propuso por consenso productos para que fueran empleados como referencias y que además éstas les permitiera ubicarlas en la escala de 15 cm donde: 0 indica que el atributo no fue percibido y 15 indica una alta intensidad. Inicialmente se les facilitaron 25 referencias de las cuales únicamente se emplearon 9.

Al inicio del entrenamiento se realizaron algunas evaluaciones grupales, una vez que el panel se familiarizó con los atributos, y ubicó adecuadamente las referencias en la escala. Se realizaron las evaluaciones de manera independiente y se monitoreó el desempeño de panelistas durante el entrenamiento mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) empleando el paquete estadístico SAS versión 9.0.

Una vez calibrado el panel se realizó la prueba final. Se presentaron aleatoriamente 20 mL de las dos muestras de sopa fresca y deshidratada; por triplicado a una temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ identificadas por un código aleatorio de tres dígitos. Todas las referencias fueron colocadas en vasos del número 0 y estuvieron disponibles durante la evaluación final. Se proporcionó agua para el enjuague entre muestras. Todas las evaluaciones fueron realizadas a temperatura ambiente bajo luz blanca en cabinas separadas. Los datos colectados fueron examinados variable por variable, empleando el paquete estadístico SAS versión 9.0; mediante un análisis de varianza utilizando un diseño de bloques al azar con un arreglo en parcelas dividida; donde las tres repeticiones fueron consideradas como bloques, la parcela mayor fueron los dos tratamientos: sopa de huitlacoche fresco y sopa de huitlacoche deshidratado y la parcela menor los panelistas. La comparación de medias se realizó empleando un $\alpha=0.05$.

3.10.4. Medición de atributos fisicoquímicos en sopas de huitlacoche

3.10.4.1. Acidez titulable

La acidez titulable se determinó por el método de A.O.A.C. (1990). El extracto se filtro a través de una maya. Se tomaron alícuotas de 10 ml para la cuantificación, se consideraron como referencia los 0.6403 miliequivalentes de ácido cítrico. Dado que el color de la muestra de huitlacoche era oscuro no fue posible observar el vire a un color rosa tenue al titular con el NaOH 0.01 N. Para ello se calibro el equipo (pH 7.0); posteriormente se colocó la alícuota de 10 mL a la cual se adicionaron 3 gotas de fenolftaleína y se introdujo dentro de la muestra el electrodo. Se realizó la titulación con el NaOH 0.01 N hasta lograr la neutralización de los ácidos presentes en la muestra (tomándose como referencia un valor de 8.3; que es el pH al cual vira la fenolftaleína (Figura 31). El porcentaje de acidez titulable se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Acidez titulable} = \frac{(V)(N)(M)}{A} \times 100$$

Donde:

V= Volumen de NaOH gastados en la titulación (mL)

N= Normalidad del NaOH (0.01 N)

M= Miliequivalentes del ácido orgánico predominante (ácido cítrico)

A= Alícuota o volumen de extracto titulado (10 ml)

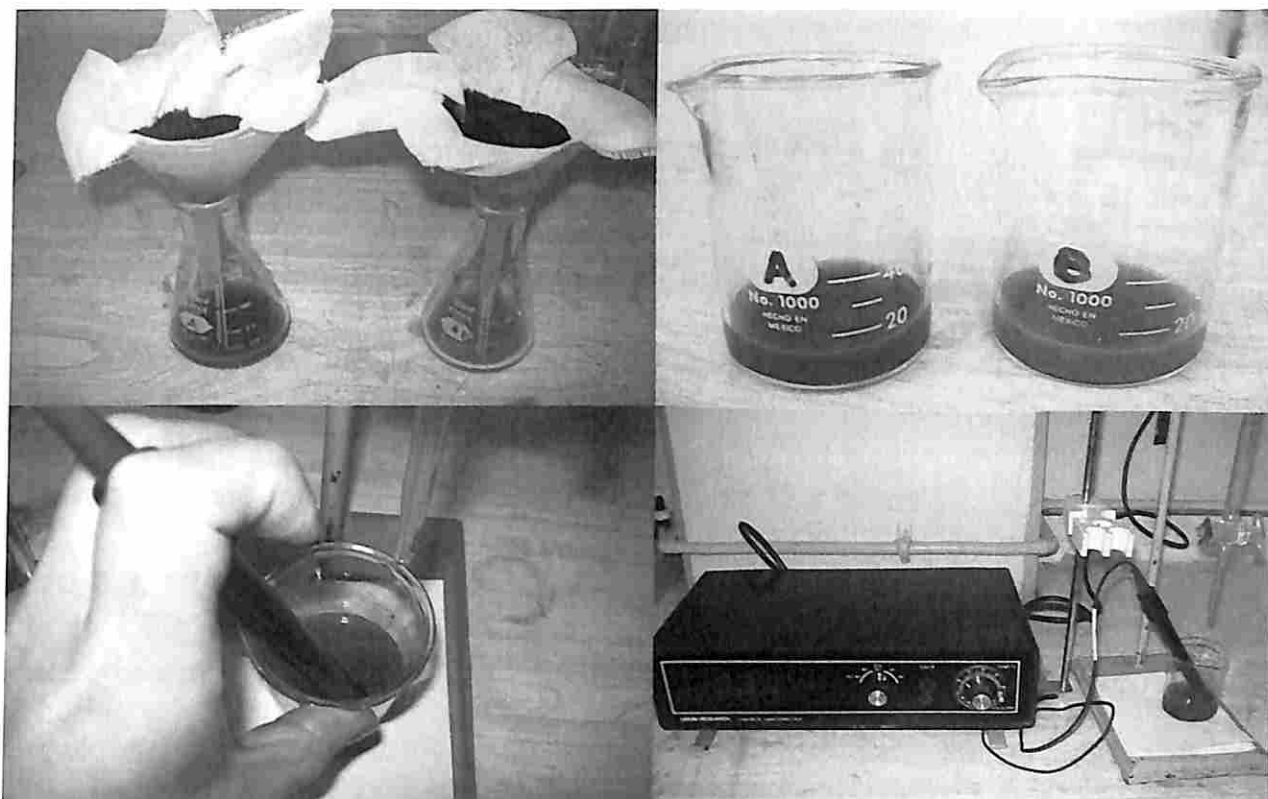


Figura 31. Determinación de la acidez titulable en sopa fresca y deshidratada.

3.10.4.2. Medición de pH

El pH se determinó mediante un potenciómetro (ORION RESEARCH model 601 A/ digital IONALYZER). Para ello se encendió el equipo y se ajustó a la opción de pH. Se verificó que el botón de temperatura se encontrara en 20 °C. Se lavó el electrodo con agua destilada y se secó con una toalla de papel. El equipo fue calibrado con solución buffer de pH conocido, ajustando con el botón de calibración (pH 7.0). Se lavó el electrodo con agua destilada y se secó con una toalla de papel. La muestra a medir fue filtrada con una maya. Se emplearon muestras de 20 mL por triplicado para cada una de las sopas (Figura 32). Para obtener la lectura de pH se sumergió el electrodo dentro de la muestra y se tomó la lectura.

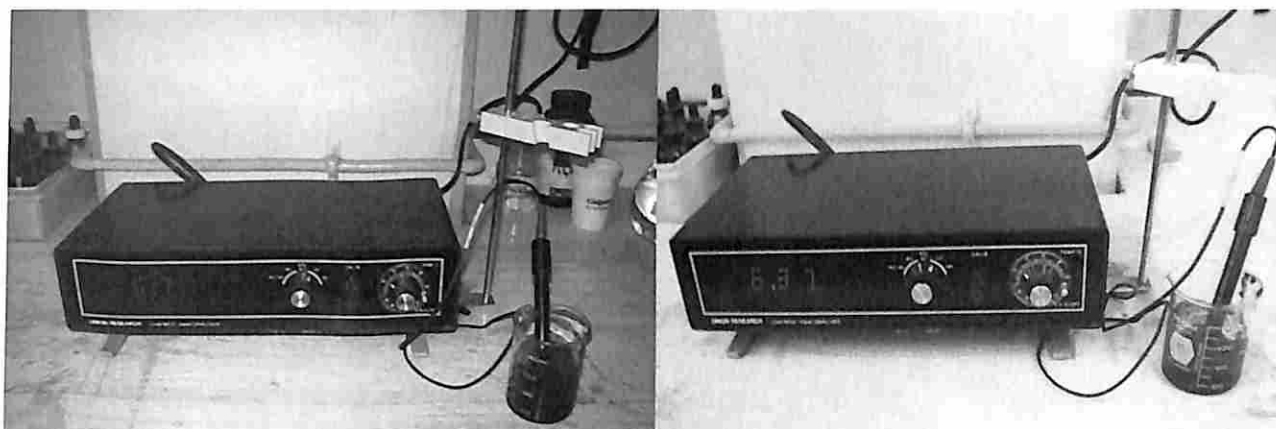


Figura 32. Medición de pH en sopa deshidratada y fresca.

3.10.4.3. Viscosidad

Para determinar la viscosidad de ambas sopas se empleó un Viscosímetro Brookfield (Synchro-Lectric Viscosimeter Modelo LVF Serie 58009 Volts 115 Freq 60 Brookfield Engineering Laboratories, Inc. Stoughton, M.A. 02072. U.S.A). Con fines de comparación de las viscosidades de ambas sopas, sólo se seleccionó un dispositivo (aguja 2) y una velocidad (6 rpm). Para el cálculo de la viscosidad se siguió el procedimiento indicado por el fabricante (Figura 33).

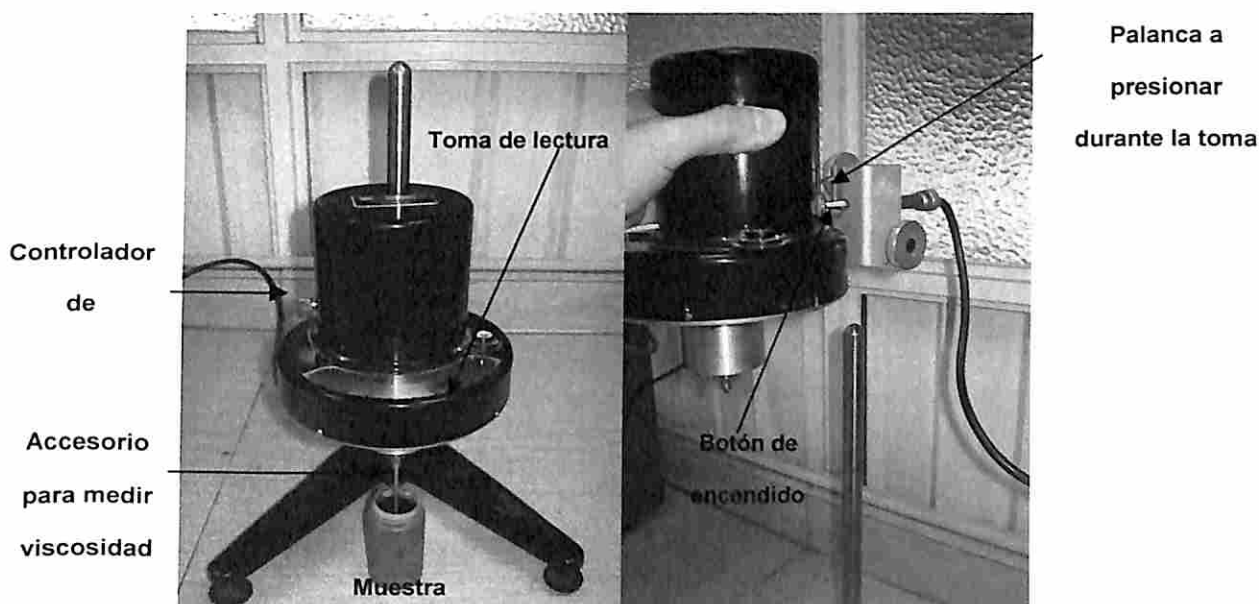


Figura 33. Determinación de la viscosidad en sopa fresca y deshidratada.

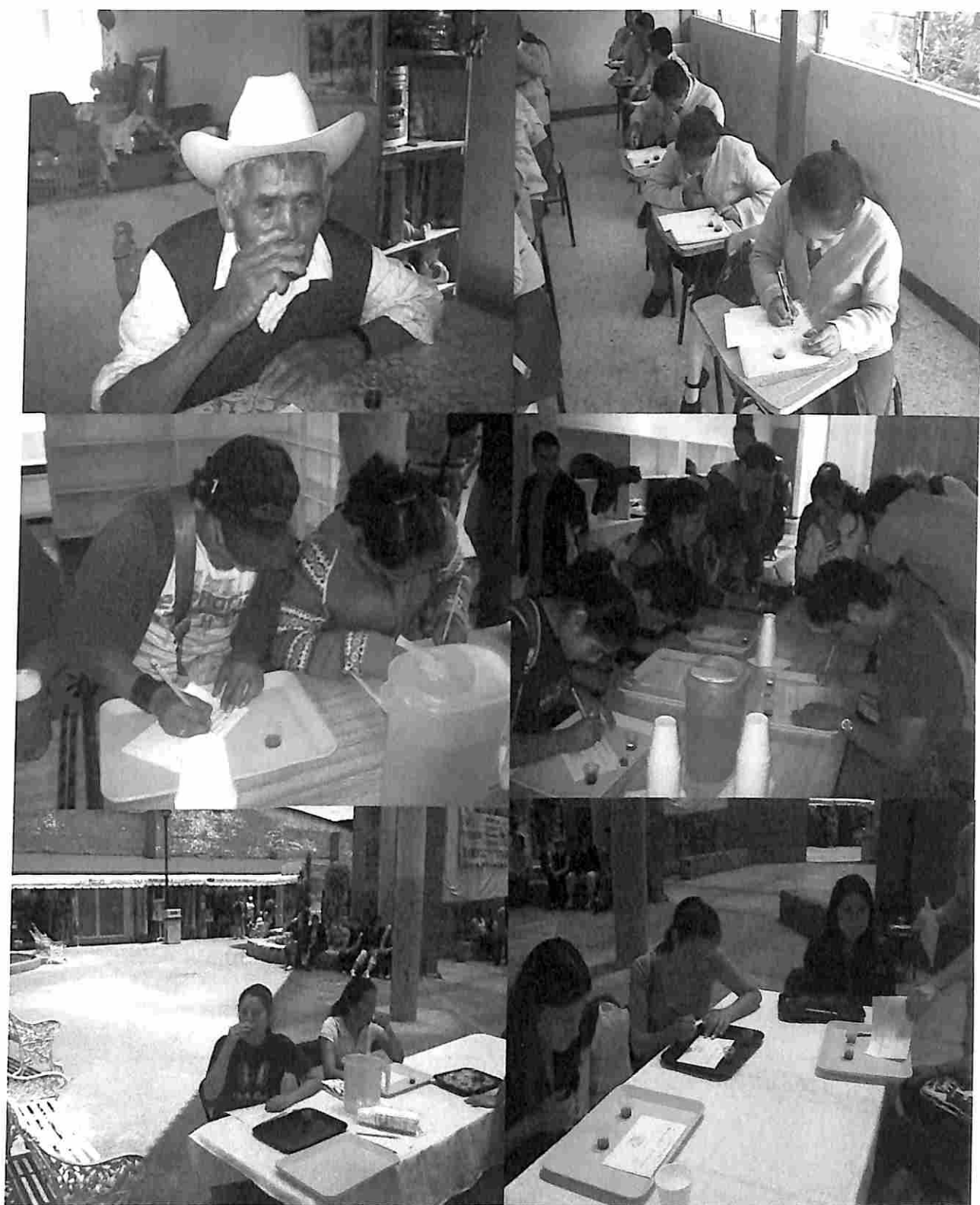


Figura 34. Prueba de aceptabilidad global para sopas de huitlacoche fresca y deshidratada; aplicada a tres diferentes poblaciones (Puebla, Texcoco, y Chapingo).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cinética de secado

El contenido de humedad promedio del huitlacoche antes del secado fue de 90.47%. En la figura 35 se presenta la curva de secado en función del tiempo a una temperatura experimental de $70 \pm 2^\circ\text{C}$.

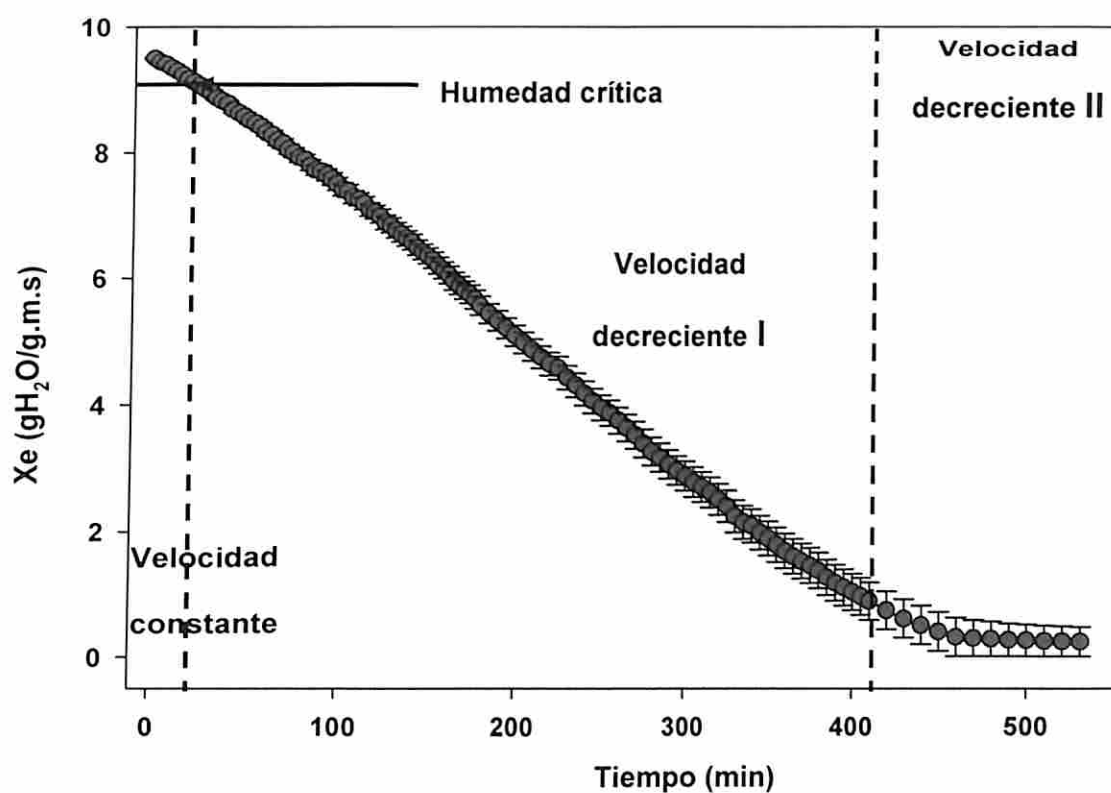


Figura 35. Curva de secado para huitlacoche obtenidas a $70 \pm 2^\circ\text{C}$ y determinación de la humedad crítica.

Como se puede observar, el secado fue caracterizado por un corto periodo de velocidad de secado constante. La transición del periodo de velocidad de secado constante al decreciente se dio a los 21 minutos después de haber comenzado el proceso. El valor de la humedad crítica obtenida con el método estadístico, propuesto por Espinosa (1993), proporcionó un valor de 9.1 gH₂O/g.m.s, tal como se observa en la Figura 35. Con el método de apreciación dicho valor fue muy similar.

Dado que el periodo de velocidad de secado constante fue muy breve, el secado del huitlacoche ocurre principalmente en el período de velocidad de secado decreciente. Esto muestra que la difusión es el mecanismo físico dominante que gobierna el movimiento de humedad en las muestras. Resultados similares han sido obtenidos por diferentes autores en el deshidratado de varias frutas tales como uva sin semillas, uvas negras y chabacano (Doymaz, 2004; Raouzeos y Saravacos, 1986; Vagenas Marinos-Kouris, 1991; Doymaz, 2006); así como durante el deshidratado de pulpa de tomate (Goula *et al*; 2006). Aunado a lo anterior, varios autores han propuesto que el principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua (van Arsdel y Copley, 1963; Fortes y Okos, 1980; Geankoplis, 1983).

El tiempo de secado para las muestras fue de aproximadamente 7 horas y media y la cantidad total de humedad retirada al huitlacoche fue superior al 7 %; resultados similares fueron obtenidos por Hoyos (1979) al secar plátanos en tiras de 1.0 cm X 1.0 cm X 5.0 cm; obteniendo un contenido final de humedad

en las muestras del orden del 7 al 10%. De la misma forma, Carranza y Sánchez (2002); indican que el contenido de humedad final para plátano y yuca después del secado se encontró dentro del 7-8 %.

4.1.1. Medición de pH durante el proceso de deshidratación

Los valores de pH para huitlacoche deshidratado registrados durante aproximadamente 9.5 h de proceso fueron clasificados como ácidos oscilando desde 4.99 hasta 5.28 (Figura 36).

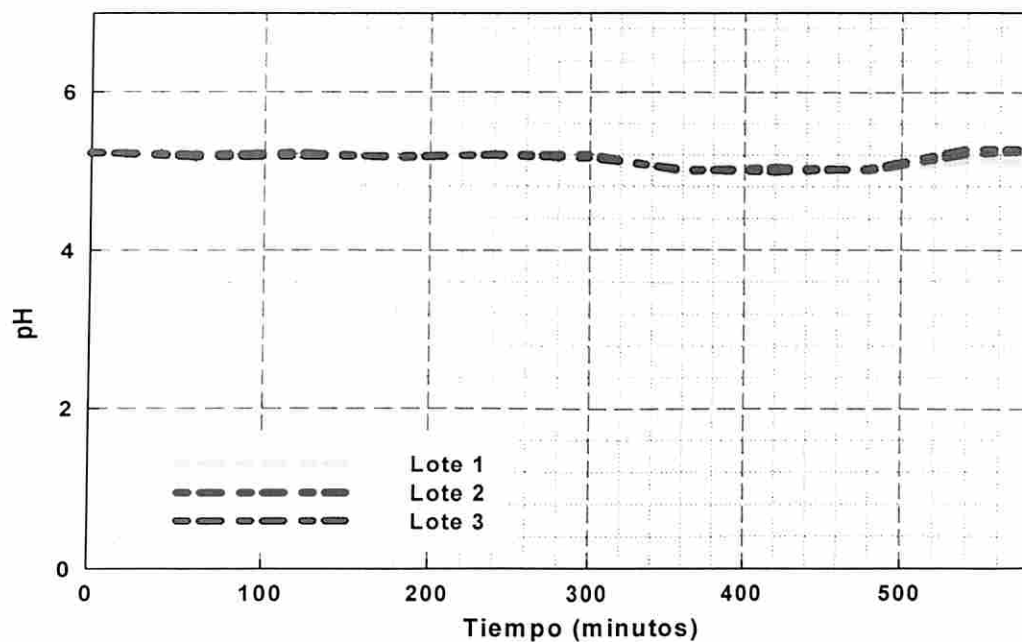


Figura 36. Medición de pH durante el proceso de secado (70 °C).

4.1.2. Color

Los valores de luminosidad, ángulo de tono y saturación del huitlacoche fresco y deshidratado se presentan en el Cuadro 9. Los parámetros de color encontrados para el huitlacoche fresco de este trabajo son muy similares a los

reportados por Martínez *et al.* (2008), quienes reportaron los cambios poscosecha del huitlacoche. Como puede apreciarse en el Cuadro 9, no existieron cambios importantes en la saturación del color; por su parte, la luminosidad se redujo en un 34.1 % y el ángulo de tono en un 15.3 %, ambos cambios fueron estadísticamente diferentes ($Pr \leq 0.05$). Esto indica que el huitlacoche en el transcurso del proceso de deshidratación se oscureció. Las causas del oscurecimiento pueden atribuirse a la reducción mecánica del tamaño del huitlacoche y a la ausencia de algún pretratamiento (tipo escalde). El oscurecimiento es un problema muy grave que afecta la apariencia del producto, tal es el caso de la manzana, pera, plátano, entre otros (Wiley, 1994). En un trabajo realizado con mango, Rattanapanone *et al.* (2001); atribuyeron los cambios en el valor de la luminosidad a un ligero oscurecimiento en la superficie. En la Figura 37 se presenta la representación gráfica de los tratamientos estudiados.

Cuadro 9. Valores para luminosidad, ángulo de tono y saturación para huitlacoche fresco y deshidratado.

Parámetro	Huitlacoche fresco	Huitlacoche deshidratado
L*	37.8 a	24.9 b
Ángulo de tono	87.2 a	73.9 b
Saturación	6.3 a	6.2 a

Promedio de 3 repeticiones, letras diferentes en el mismo renglón indican diferencia estadística entre tratamientos.

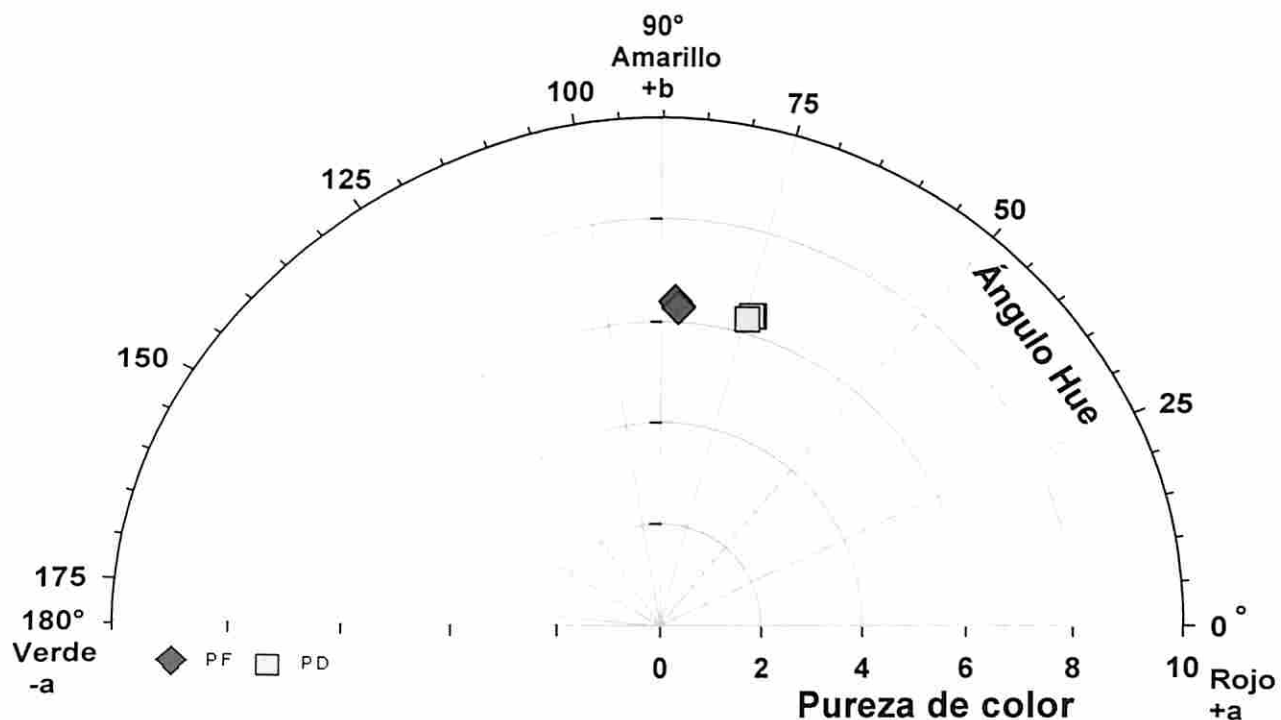


Figura 37. Diagrama de cromaticidad de huitlacoche fresco y deshidratado; antes y después del proceso de deshidratación.

4.2. Isotermas de desorción

La Figura 38 representa los valores experimentales de desorción para las muestras de huitlacoche. De acuerdo a la clasificación de Brunauer *et al.* (1940) dentro de los cinco tipos de isotermas de sorción, la curva obtenida se clasifica como del tipo III. Brunauer *et al.* (1940) indicaron que si los alimentos contienen compuestos cristalinos hidrosolubles, por ejemplo azúcares o sales, la isoterma es cóncava del tipo III.

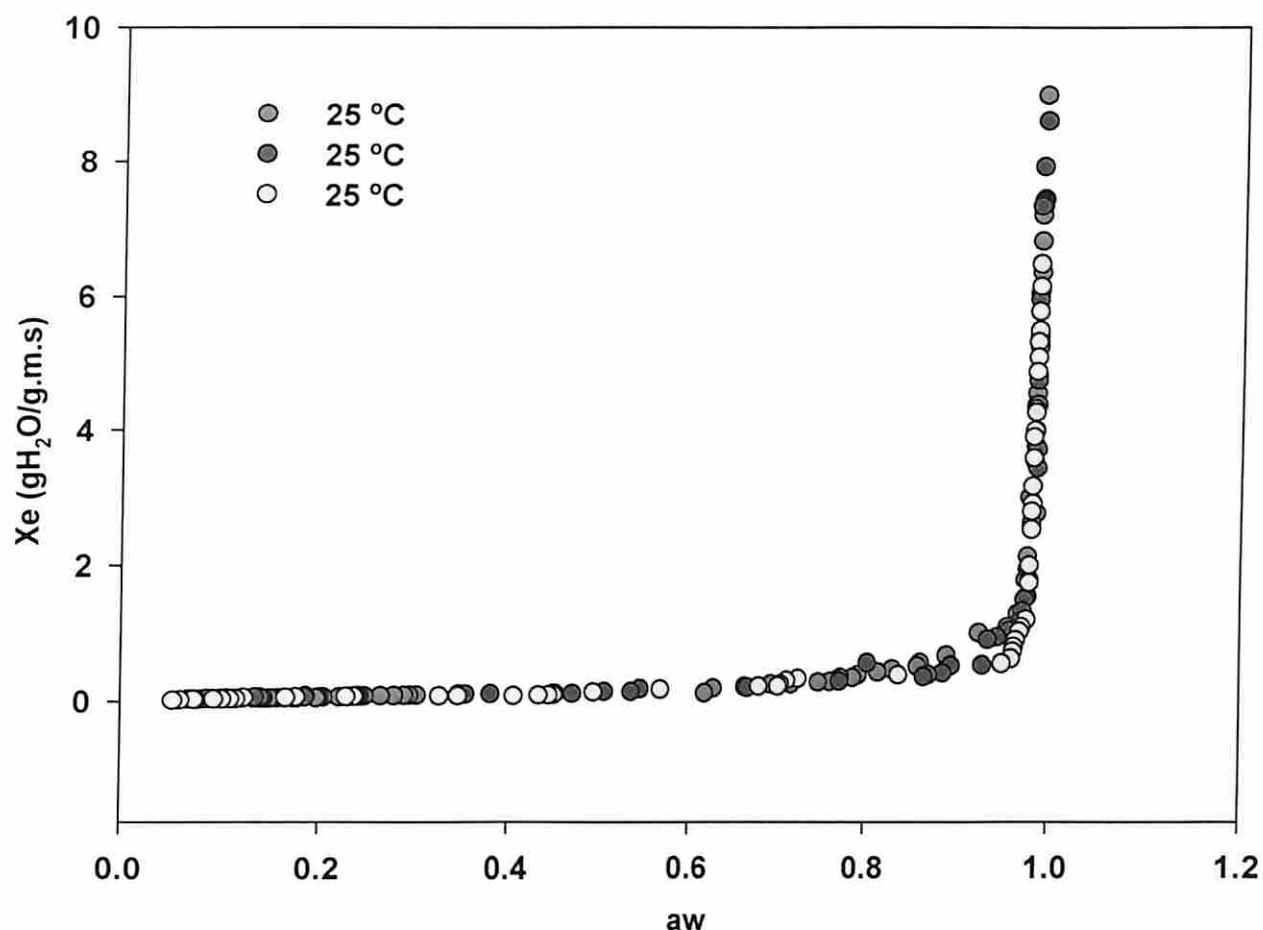


Figura 38. Isothermas de desorción obtenidas a 25°C

Chenlo *et al.* (2005), trabajando con chiles pimientos enteros o troceados a temperaturas de 5, 25, 45 y 65 °C, encontraron que el producto presentó isothermas tipo III (clasificación de Brunauer *et al.*, 1940). Se reporta que existe un entrecruzamiento de isothermas obtenidas a diferentes temperaturas. En dicho trabajo, el entrecruzamiento ocurrió a valores de a_w en el rango de 0.65-0.75. A valores menores a la región de cruzamiento, el valor de la humedad del producto de la isoterma de menor temperatura estuvo por encima de la humedad correspondiente la isoterma de mayor temperatura. Por lo contrario, a valores superiores de la zona de entrecruzamiento, el valor de humedad de la

isoterma de mayor temperatura estuvo por encima de la isoterma de menor temperatura. Este comportamiento parece ser característico de los productos con isothermas tipo III, y ha sido reportado por otros autores como Yoshida y Meegalli (2000) para maíz dulce y Ayrancy, Ayranci, y Dogantan (1990) para chabacano, higo y pasas. De hecho, estos cruzamiento son típicos en frutas con alto contenido de azúcar (Myhara y Sablani, 2001; Nicoleti, Telis-Romero, y Telis, 2001; citado por Simal *et al.* 2007).

Este fenómeno se ha relacionado con la transición de componentes presentes (carbohidratos, principalmente) desde un estado cristalino a otro amorfo (Chenlo *et al.* 2005). De acuerdo con Saltamarch y Labuza (1980) para productos con contenido de azúcar, la disolución de azúcar ocurre a actividades de agua altas y el azúcar cristalina es convertida a azúcar amorfa.

Posiblemente algo similar suceda en el caso del huitlacoche como se aprecia en la Figura 38 a altas actividades de agua la humedad de equilibrio cambia rápidamente; lo cual implica que los valores de actividad de agua y la forma de la isoterma de desorción es afectada por la composición del huitlacoche y la temperatura del sistema (Saravacos, 1995; citado por Delgado *et al.*, 2002). Desafortunadamente en este caso no se puede realizar una comparación a diferentes temperaturas debido a que se trabajo únicamente con la temperatura experimental de 25 °C.

Si consideramos la composición del huitlacoche, reportada por Castro y Ruiz (2003); donde destacan una cantidad importante de carbohidratos (55.1-66.5 g/100 g) y una cantidad moderada de proteínas (11.5- 16.4 g/100 g), ambos en base seca, y teniendo en cuenta que los carbohidratos constituyen más del 90% de la materia seca de los vegetales, y que poseen muchas estructuras moleculares diferentes, tamaños y formas, y exhiben una gran variedad de propiedades físicas y químicas (Fennema, 2000), es posible elucubrar que el tipo de carbohidratos presentes en el huitlacoche presenten la propiedad de cambiar su estructura cristalina a una amorfa, lo cual confiere a matriz del producto la propiedad de interactuar fácilmente con el agua y por consiguiente dar lugar a una isoterma tipo III de acuerdo a la clasificación de Brunauer *et al.* (1940). Sin duda, es necesario aportar evidencia experimental para corroborar estas características.

4.2.1. Cálculo del valor de monocapa

Se calculó el valor de monocapa para las tres isotermas de desorción encontrándose un valor experimental promedio de 0.076 g. agua/g ms. Esta región, de acuerdo a lo señalado por Lilley y Sutton (1985), corresponde a una humedad de 0.0 a 0.07 gramos de agua por g de materia seca (g H₂O/g.m.s) aproximadamente. A la humedad máxima de esta región hay una estabilidad óptima de los materiales alimenticios para mantener sus propiedades y estructuras características, ya que por debajo de esta humedad pueden presentarse fenómenos de autooxidación y por arriba de la misma, actividad enzimática y reacciones oxidativas.

El contenido de humedad promedio de la monocapa para el huitlacoche fue de 4.046% (base seca). Iguaz y Vírveda (2007); reportan que el contenido de humedad de la monocapa para arroz crudo en un rango de temperaturas de 40-80 °C se encontró dentro de un rango de 2.905% a 4.870% (base seca) con un valor promedio de 3.54% (base seca). Estos valores son similares a los obtenidos por otros autores Zuritz *et al.* (1999) y Putranon *et al.* (1979). De acuerdo a Rizvi (1986), el contenido de humedad en la monocapa decrece con un incremento en la temperatura para la mayoría de los alimentos. Esta tendencia ha sido observada para arroz crudo en el rango de temperaturas de estudio (Iguaz y Vírveda, 2007). Menkov, Paskalev, Galyazkov, y Kerezieva-Rakova (1999) tienen establecido que la dependencia entre el contenido de humedad de la monocapa y la temperatura para un gran número de productos biológicos se describe mediante una ecuación lineal. Lahsasni *et al.* 2002; reporta que el valor del contenido de humedad de la monocapa (base seca) para nopal presenta el comportamiento antes mencionado y lo comprueba al aplicar el modelo de BET.

4.2.2. Modelado de las isothermas de desorción mediante las ecuaciones de GAB y Peleg

En lo referente al modelado de las isothermas fueron empleadas las ecuaciones de GAB (Ecuación 4) y Peleg (Ecuación 5) para simular las isothermas de desorción para huitlacoche. En el Cuadro 10 se muestran los valores de las constantes obtenidas a partir de dichos modelos.

Cuadro 10. Valores de las constantes obtenidas mediante los modelos de GAB y Peleg para predecir la desorción experimental de huitlacoche.

Modelo	R ²	Valores de las constantes			
		a	b	c	d
GAB	0.9924	93.8197	2.874×10^{-5}	0.9881	-
Peleg	0.9962	14.0198	114.0970	1.0188	4.0015

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

El Cuadro 10 muestra que ambos modelos (Peleg y GAB) (Figura 39) proporcionan un buen ajuste para los datos experimentales de huitlacoche; encontrándose valores de $R^2 = 0.9962$ y 0.9924 con un error estándar de 0.1744 y 0.2456, respectivamente. Sin embargo el modelo de Peleg es el que presenta el mejor ajuste y describe bastante bien los datos experimentales. De manera similar al modelo ampliamente empleado de GAB cubre el rango “practico” de actividades de agua de 0.10-0.90.

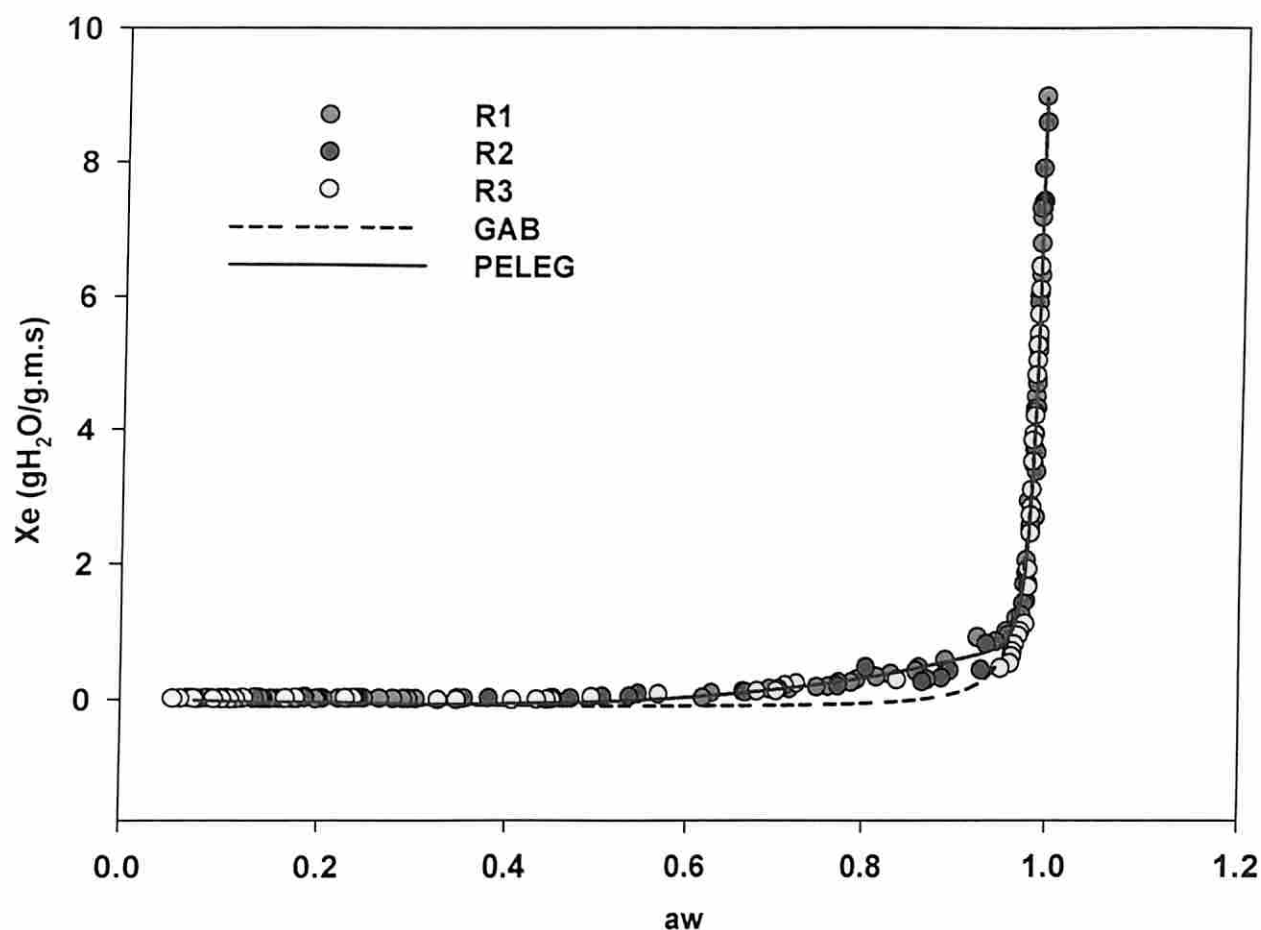


Figura 39. Isothermas de desorción obtenidas a 25°C y modelado de los datos experimentales mediante los modelos de GAB y Peleg.

Desde una actividad de agua alta la curva de desorción de huitlacoche cambio debido a una pendiente creciente; por lo que el empleo de la ecuación de Peleg fue un buen planteamiento. El modelo de Peleg permite hacer a la constante c superior a 1 para describir mejor la curva experimental de forma cóncava hacia arriba como sucedió en el presente trabajo y por consiguiente la capacidad de que el modelo no se limite únicamente por las isothermas de sorción sigmoides (Peleg, 1993). En una regresión no lineal, especialmente donde las funciones presentan tres o más parámetros son complicadas, y las soluciones no están

siempre garantizadas (Schuchman, Roy, y Peleg, 1990). Por lo anterior se confirmo que la regresión de los datos fuera única, repitiendo el procedimiento de regresión comenzando desde diferentes valores. Sin embargo, es teóricamente muy difícil decidir en base al ajuste de los modelos alguno de estos.

Bellagha y colaboradores (2005) reportaron isothermas de desorción en sardina (*Sardinilla aurita*) a 40°C; usando los modelos de GAB, Oswin y Ratti. Los resultados mostraron un patrón sigmoideal del tipo III, debió a la composición de ácidos grasos insaturados y poliinsaturados. Delgado *et al.* 2002; encontraron que las curvas de desorción obtenidas a temperaturas de 10-50 °C presentaron un patrón del tipo III para muestras de carne de vaca y puerco. La ecuación de Iglesias y Chirife fue la que describió mejor las isothermas experimentales para ambos tipos de carne aunque también los modelos de Ferro Fontan *et al.*; Peleg y GAB predijeron razonablemente (Delgado *et al.*; 2002). Chenlo, 2005 menciona que las isothermas experimentales para chile pimiento Padrón se clasifican dentro del tipo III y II en función de la temperatura y concluyeron que el modelo de Peleg fue el más adecuado dada su mayor flexibilidad para poder modelar isothermas de sorción independientemente del tipo al que pertenezca. Vázquez *et al.* (1999); encontraron que las isothermas de desorción obtenidas a 25 °C para uvas *Muscatel* y *Aledo* fueron del tipo III, siendo la ecuación de GAB la que proporcionó el mejor ajuste para los datos experimentales.

4.3. Isotermas de adsorción del huitlacoche

Las isotermas de adsorción del huitlacoche fueron determinadas a 16 °C, 25 °C y 35 °C. Como era de esperar, se tuvo un ligero incremento en la actividad de agua con la temperatura, sin embargo esta influencia no fue notoria como ocurre con algunos otros materiales alimenticios. Los datos en la Figura 40 muestran un patrón de isoterma del tipo III, característico de alimentos con alto contenido de azúcar, manteniendo relativamente bajas cantidades de agua a bajas actividades de agua y grandes cantidades a altas humedades relativas Samaniego- Esguerra *et al.* 1991.

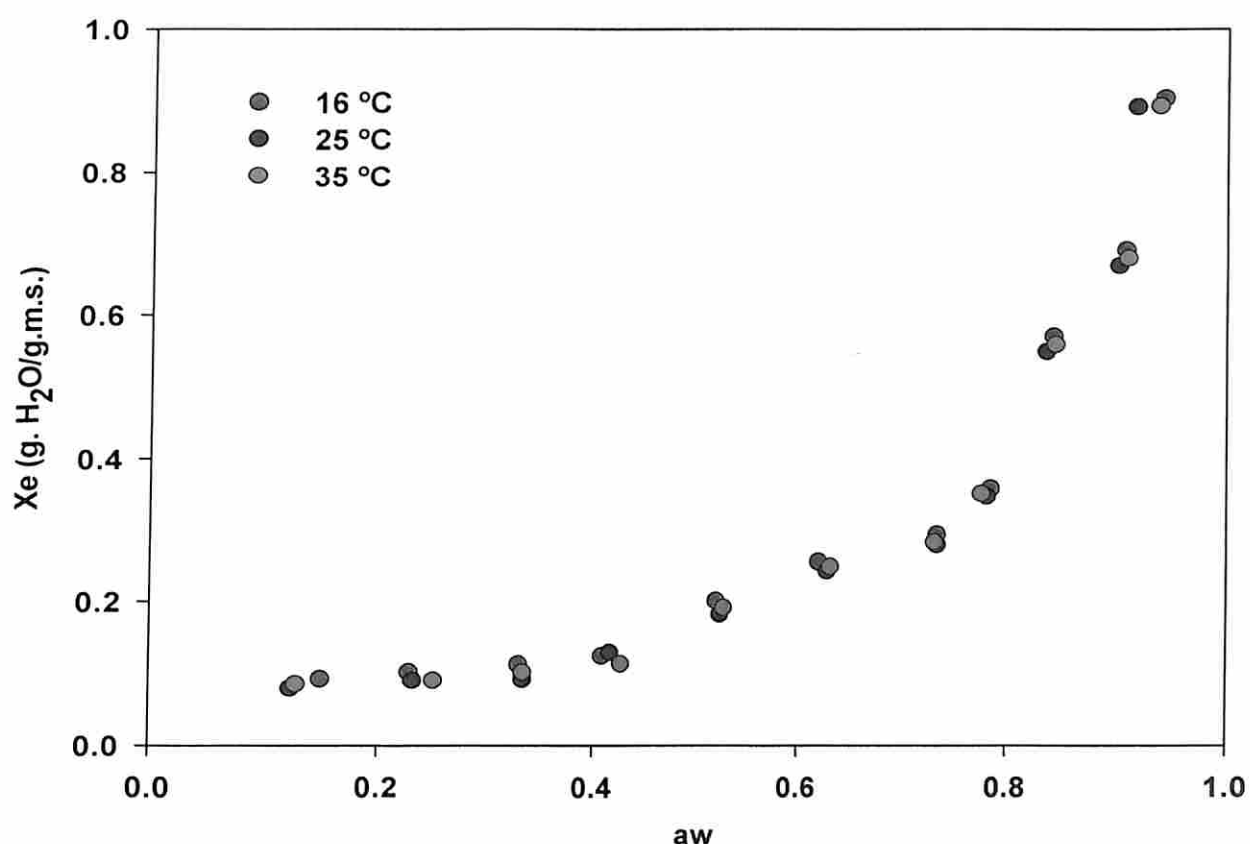


Figura 40. Datos experimentales e isotermas de desorción obtenidas a 16, 25 y 35°C.

De acuerdo a la teoría de BET, una isoterma del tipo III aparece cuando la energía que une la primera capa es tan baja que une la energía entre las moléculas de agua (Leung, 1986; citado por Mulet *et al.*; 2002).

Los datos experimentales obtenidos para cada una de las isotermas (16, 25 y 35 °C) fueron modelados mediante la ecuación de Peleg (Figura 41) obteniendo un R^2 de 0.9877, 0.9780 y 0.9866, y un error estándar de 0.0359, 0.0476 y 0.0374, respectivamente.

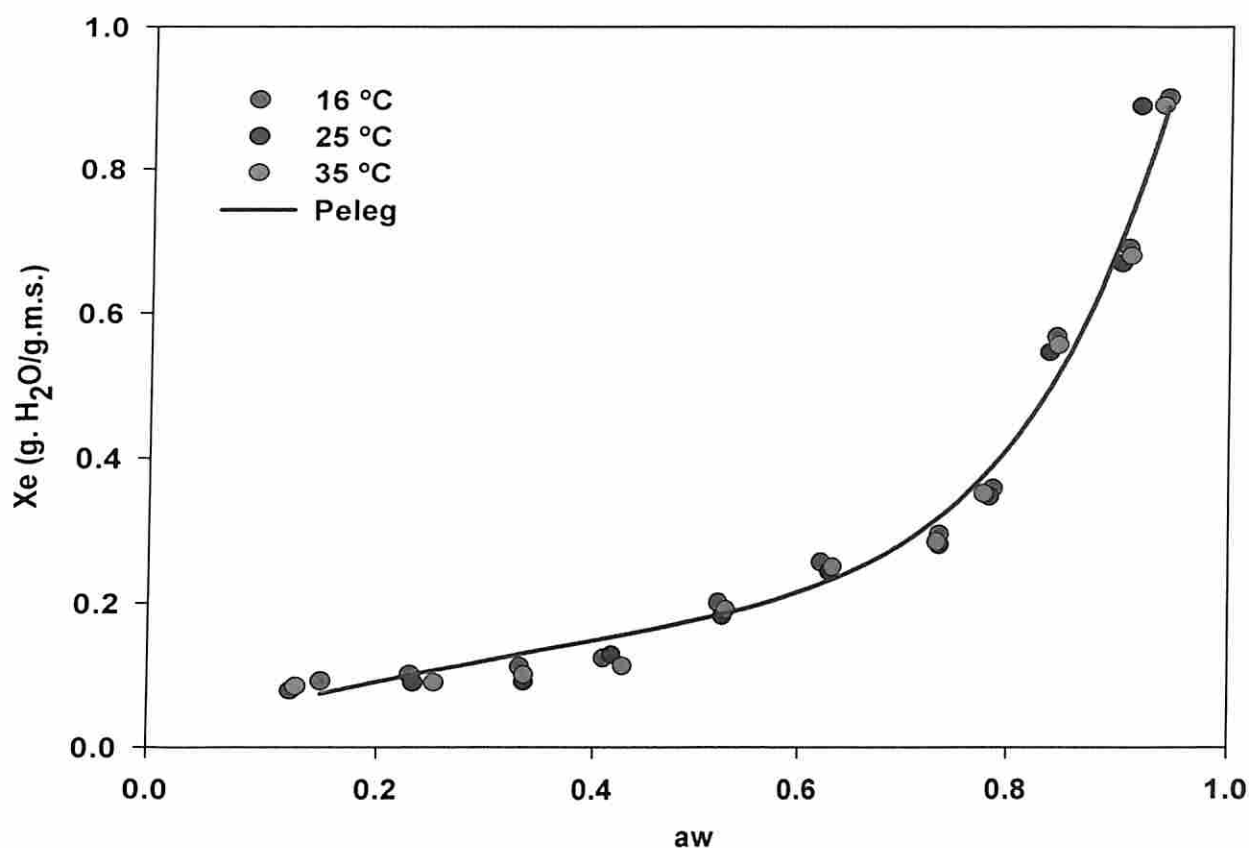


Figura 41. Datos experimentales e isotermas de desorción obtenidas a 16, 25 y 35°C y modelado de los datos experimentales mediante el modelo de Peleg.

La histéresis no fue observada en este trabajo, ya que al graficar los datos experimentales de adsorción obtenidos a las tres temperaturas junto con los

datos de desorción quedaron sobrepuestos (Figura 42), lo cual impidió observar dicho fenómeno. La histéresis en la adsorción tiene en los alimentos importantes implicaciones teóricas y prácticas. Las implicaciones teóricas son la evidencia de irreversibilidad del proceso de sorción. Las implicaciones prácticas se refieren a los efectos de la histéresis sobre las alteraciones químicas y microbiológicas, así como su importancia en los alimentos de humedad media y baja.

La histéresis ha sido relacionada con la naturaleza y estado de los componentes en los alimentos, reflejando su potencial en los cambios estructurales y conformacionales. Durante la desorción algunos solutos pueden supersaturarse antes de la cristalización, la actividad de agua resulta en más agua retenida. Bell y Labuza (2000) reportan que los alimentos con alto contenido de azúcar frecuentemente muestran este fenómeno. Como es bien sabido, la histéresis en la adsorción es afectada por la temperatura, las propiedades de los componentes, los métodos de equilibrio, el tiempo de almacenamiento transcurrido antes de medir la isoterma, los pretratamientos, la temperatura de desecación. La bibliografía indica que en general, los tipos de cambios encontrados después de la adsorción y desorción dependen del estado inicial del sorbente (amorfo vs cristalino), de las transiciones que ocurren durante la adsorción y de la velocidad de desorción. En este caso al considerar la historia del huitlacoche obtenido durante la desorción y tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente permiten suponer que durante la desorción el producto experimento algún tipo de transición en sus

componentes. Esto podría indicar que durante el secado a 70 °C la estructura del huitlacoche no sufrió cambios importantes. Este hecho se reflejó en la facilidad de hidratación del material.

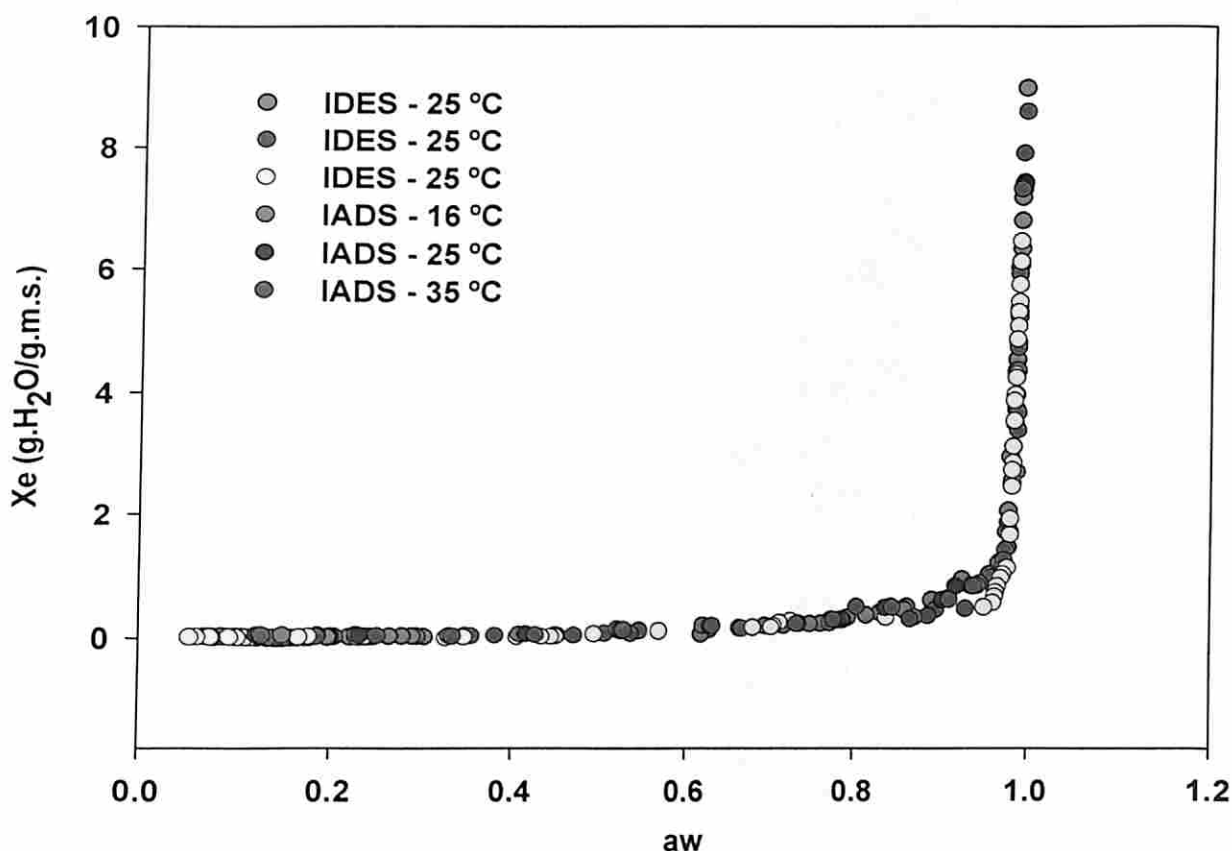


Figura 42. Comparación entre Isotermas con datos experimentales de desorción (IDES) y adsorción (IADS).

4.4. Pruebas de vida de anaquel en producto deshidratado

A partir de los 13 días de haber montado el experimento se comenzó a observar crecimiento principalmente de hongos a una actividad de agua de 0.98. Conforme transcurrió el tiempo se siguió apreciando dicho crecimiento en actividades de agua inferiores como se muestra en las Figuras 43 y 44.

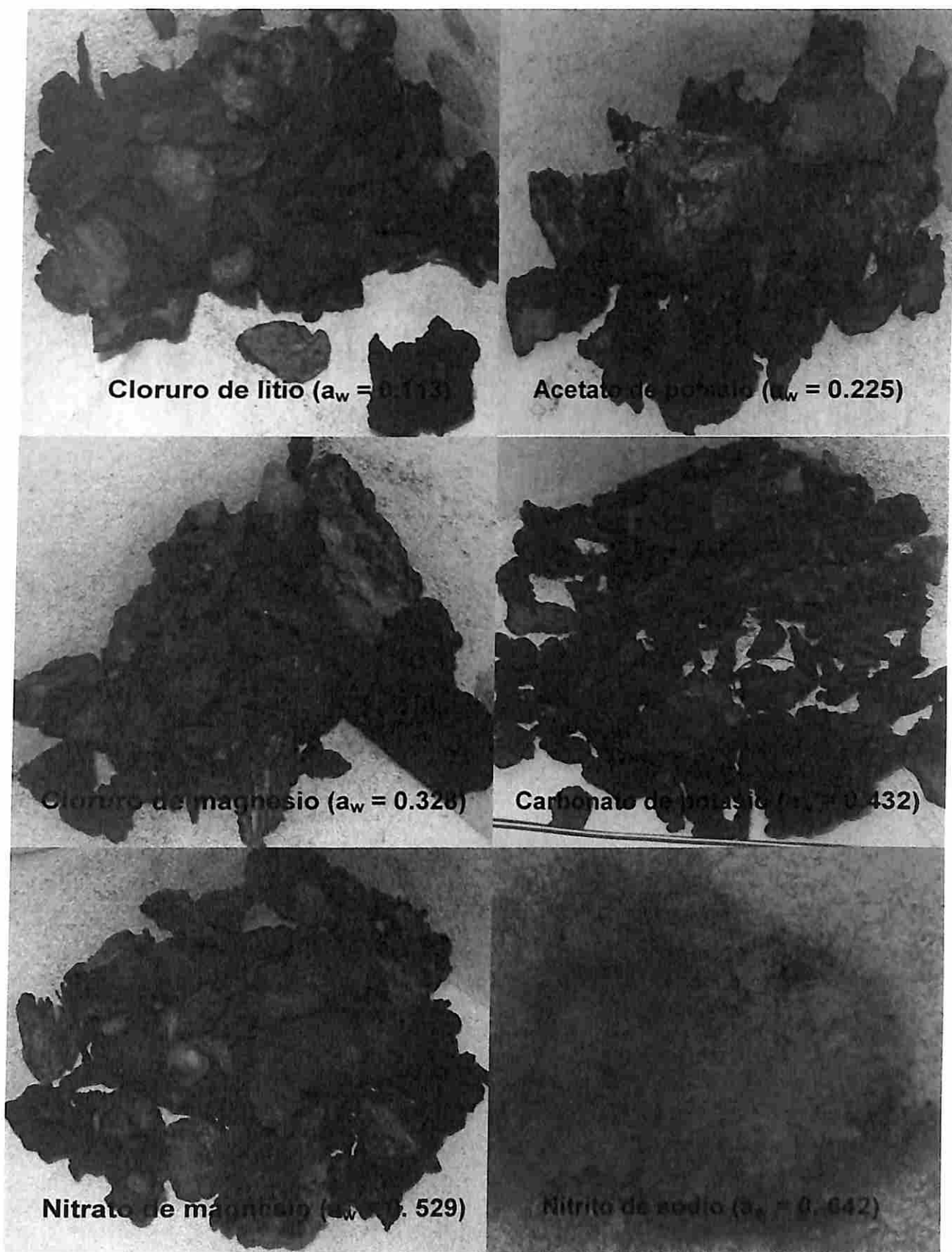


Figura 43. Empleo de algunas soluciones salinas para mostrar el crecimiento de hongos a diferentes actividades de agua.

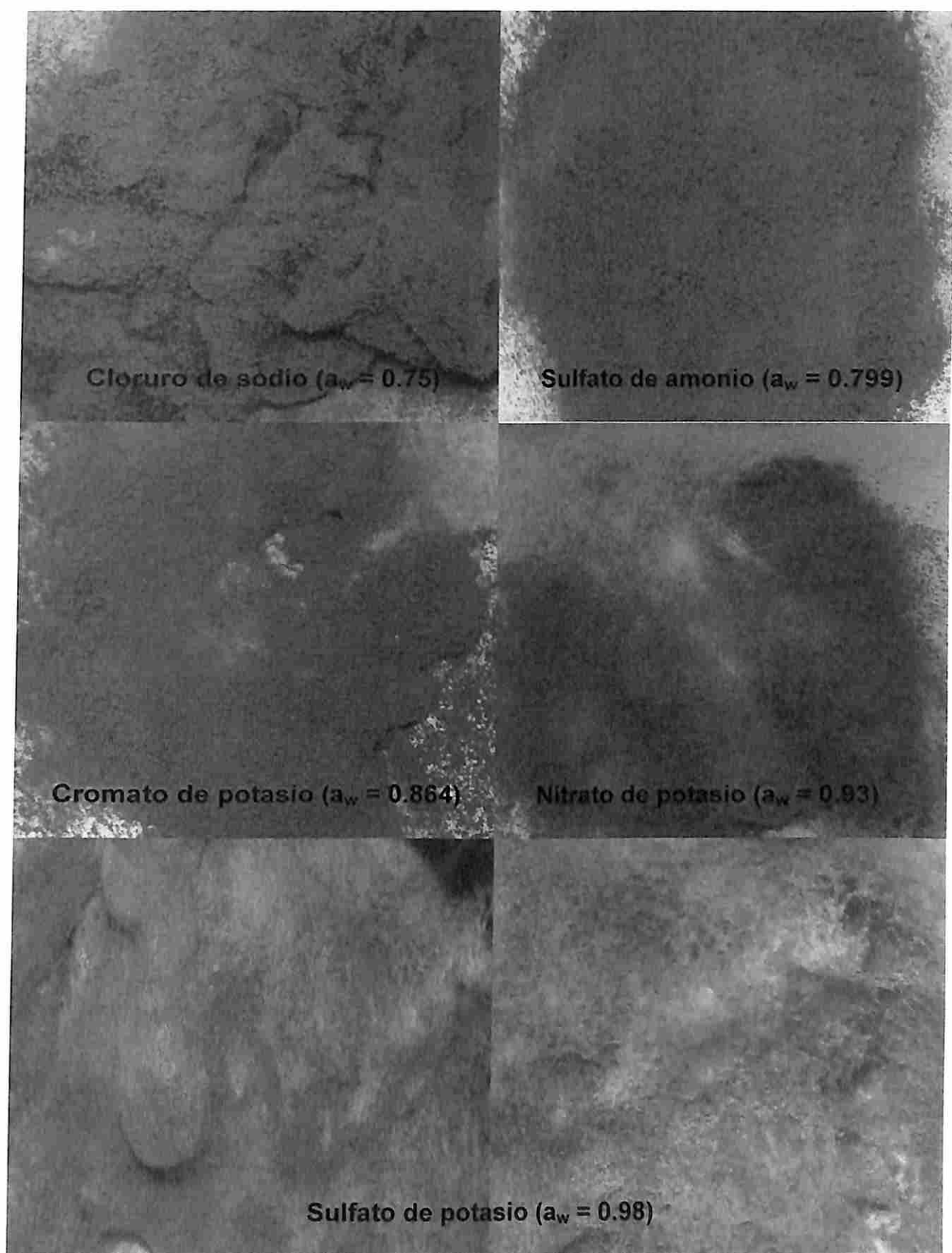


Figura 44. Empleo de algunas soluciones salinas para observar el crecimiento de hongos a diferentes actividades de agua.

Rahman (2003); menciona que existe una actividad del agua crítica por debajo de la cual ningún microorganismo puede crecer. Para la mayoría de los microorganismos este rango de actividad del agua es de 0.6-0.7. Las bacterias patógenas no pueden crecer por debajo de una actividad del agua de 0.85-0.96, mientras que las levaduras y mohos son más tolerantes a una actividad de agua más reducida de 0.80, aunque normalmente no ocurre crecimiento a una actividad de agua de aproximadamente 0.62. El valor experimental de la actividad de agua por debajo de la cual el huitlacoche se mantuvo estable fue de 0.642; dicho valor coincide con lo reportado en la bibliografía.

De aquí que la actividad de agua (a_w) sea conocida por ser un parámetro fundamental para la estabilidad de alimentos. Por ejemplo, valores < 0.7 facilitan desde cierto punto de vista la estabilidad microbiológica a temperatura ambiente por un largo periodo de conservación. Por esta razón el contenido de humedad a un $a_w = 0.7$ es generalmente denominado como "contenido de humedad seguro". Estos valores son conocidos para cereales, semillas de oleaginosas y algunos alimentos y productos alimenticios (Jovanovich *et al.*, 2003).

Los hongos encontrados para cada actividad de agua fueron identificados de acuerdo a sus características visuales y estructurales mediante un microscopio (IROSCOPE® Mod. MG.-11TPL); encontrándose de manera general la

presencia de *Penicillium sp* y *Aspergillus sp*. (Barnett y Huneter; 1998 (Figura 45) como se muestra en el Cuadro 11.

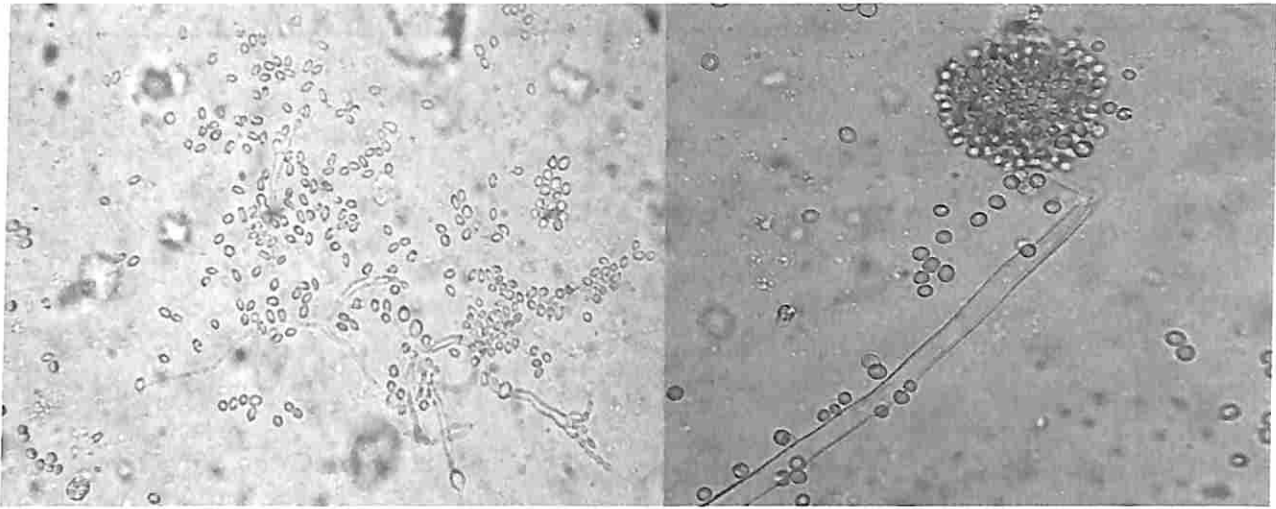


Figura 45. Vista microscopia de *Penicillium sp.* y *Aspergillus sp.* identificados a diferentes valores de actividad de agua.

En relación al pH cada microorganismo tiene un pH mínimo, un pH óptimo y un pH máximo de crecimiento. En general, las levaduras toleran más la acidez que las bacterias. Los alimentos cuyo pH es bajo (valores inferiores a 4.5) no son alterados fácilmente por las bacterias, siendo más sensibles a la alteración por levaduras y mohos. Las frutas en general, presentan un pH muy bajo en comparación con otros alimentos, razón por la cual sus alteraciones se deben a mohos principalmente. Las hortalizas presentan un pH más alto, lo que permite ya el desarrollo bacteriano (Casp y Abril, 1999).

Cuadro 11. Efecto de solutos sobre el crecimiento de microorganismos deteriorativos de alimentos e identificación a diferentes actividades de agua.

aw	Crecimiento	Características visuales	Identificación
0.113	-	-	-
0.225	-	-	-
0.328	-	-	-
0.432	-	-	-
0.529	-	-	-
0.642	+	Verde	<i>Penicillium sp.</i>
		Café-negro-amarillo	<i>Aspergillus sp.</i>
0.75	+	Verde	<i>Penicillium sp.</i>
0.799	+	Verde	<i>Penicillium sp.</i>
		Café-negro-amarillo	<i>Aspergillus sp.</i>
0.864	+	Café-negro-amarillo	<i>Aspergillus sp.</i>
0.963	+	Café-negro-amarillo	<i>Aspergillus sp.</i>
0.98	+	Café-negro	<i>Aspergillus sp.</i>

- .Ausencia de crecimiento de microorganismos. + . Crecimiento de microorganismos.

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Diferentes factores influyen en el desarrollo de los hongos, los cuales pueden agruparse como factores intrínsecos, factores extrínsecos, factores de procesamiento, factores microbianos e implícitos y los denominados efectos netos (Mossel, 1983; Gould, 1992). Aunque son muchos los factores que pueden afectar el crecimiento de un microorganismo, algunos autores consideran que la a_w es el factor más influyente sobre el crecimiento de los

microorganismos (Sautour *et al.*, 2002) y que juegan un papel importante en la estabilidad de los mismos (Presser *et al.*, 1997).

Se han realizado diversos estudios del efecto de a_w sobre el crecimiento de hongos, en los cuales se han utilizado diversos solutos para ajustar la a_w de los medios de cultivo. Gibson *et al.* (1994) determinaron el efecto de la a_w sobre varias especies de *Aspergillus*; Valik *et al.* (1999) estudiaron el efecto de la a_w sobre el crecimiento de *Penicillium Roqueforti* utilizando una solución saturada de NaCl para ajustar la a_w y Sautour *et al.* (2002) compararon los efectos de la temperatura y la a_w sobre la velocidad de crecimiento de los hongos deteriorativos.

Aunque los trabajos acerca del efecto de la a_w sobre el crecimiento de hongos son muchos (Gibson *et al.*, 1994; Pitt y Mischamble, 1995; Valik *et al.*, 1999; Sautour *et al.*, 2002; Panagou *et al.*, 2003; Plaza *et al.*, 2003; Parra y Magan, 2004), la comparación de resultados entre investigadores con frecuencia es difícil debido a que no hay una sistematización en cuanto al tipo de soluto a emplear en los diferentes trabajos de investigación y en la colección de datos que se utilizan con fines predictivos.

4.5. Prueba de similaridad

Los resultados para la prueba de similaridad permitieron rechazar la hipótesis nula (H_0); debido a que la proporción de personas que detectaron diferencia resultó mayor del 30% (Figura 46). Lo anterior con base a los datos reportados por Meilgaard (1999).

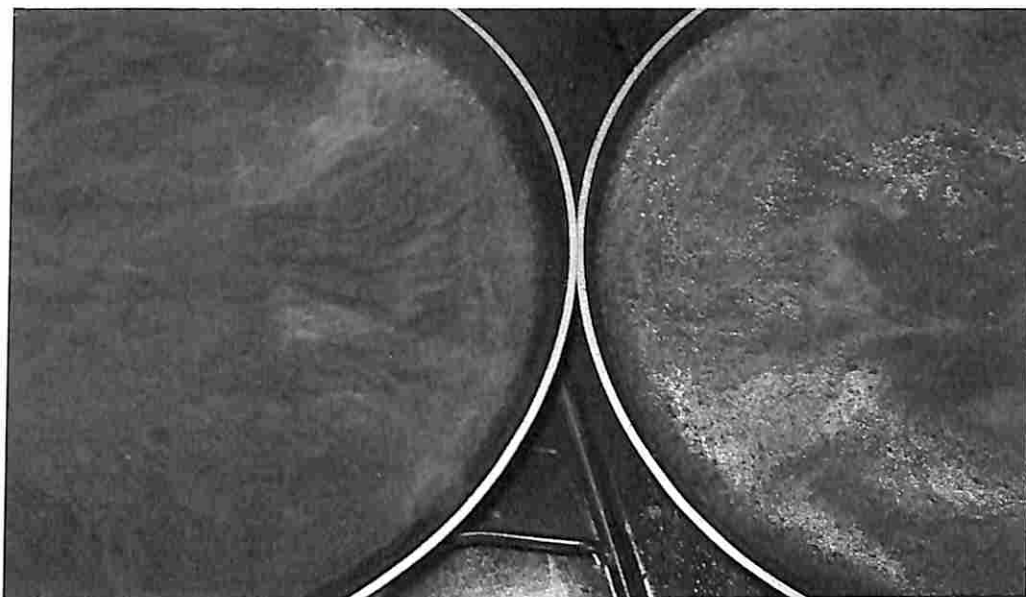


Figura 46. Sopas de huitlacoche empleadas en la prueba de similaridad; elaboradas con material deshidratado (izquierda) y fresco (derecha).

4.6. Análisis secuencial

Se realizó una prueba triangular a 30 panelistas quienes emitieron un total de 18 juicios. A cada panelista se le entregaron tres series de seis muestras (Figura 47).

La habilidad de los jueces fue medida por la proporción de las decisiones correctas, estas pudieron ser obtenidas si el juez continuaba probando indefinidamente, los candidatos podían ser aptos por sus habilidades discriminativas o inadecuados dependiendo de su desarrollo. Esta habilidad tenía que ser igual o mayor que el valor del límite p_1 siendo excelente mientras que estas habilidades a o menores que p_0 podrían ser insuficientes (Hernández, 2007; Ruiz *et al.*, 2006). El análisis secuencial permitió seleccionar a 12 panelistas con base en su habilidad discriminativa (Figura 48).

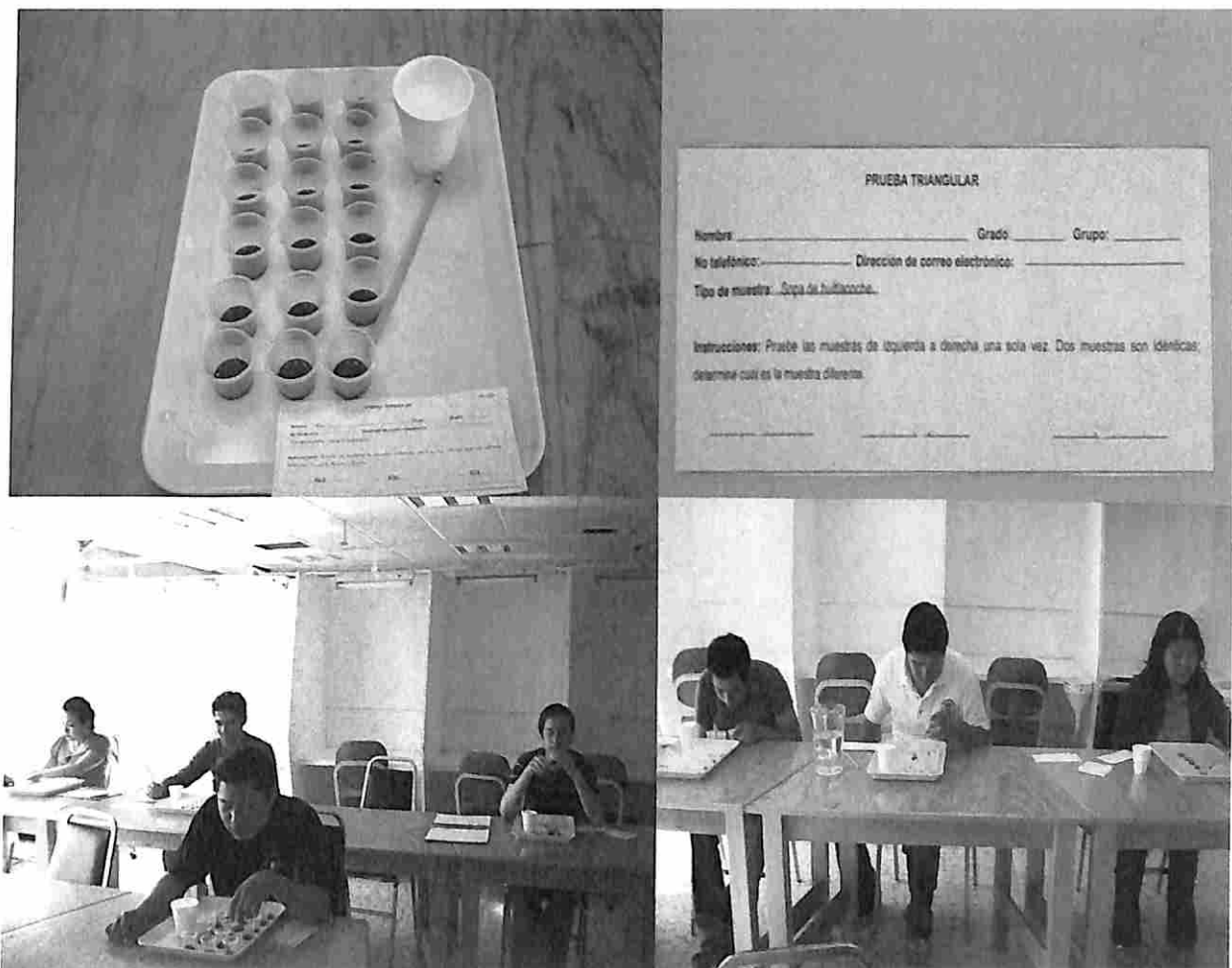


Figura 47. Prueba triangular con sopas de huitlacoche fresco y deshidratado para la selección del panel del QDA

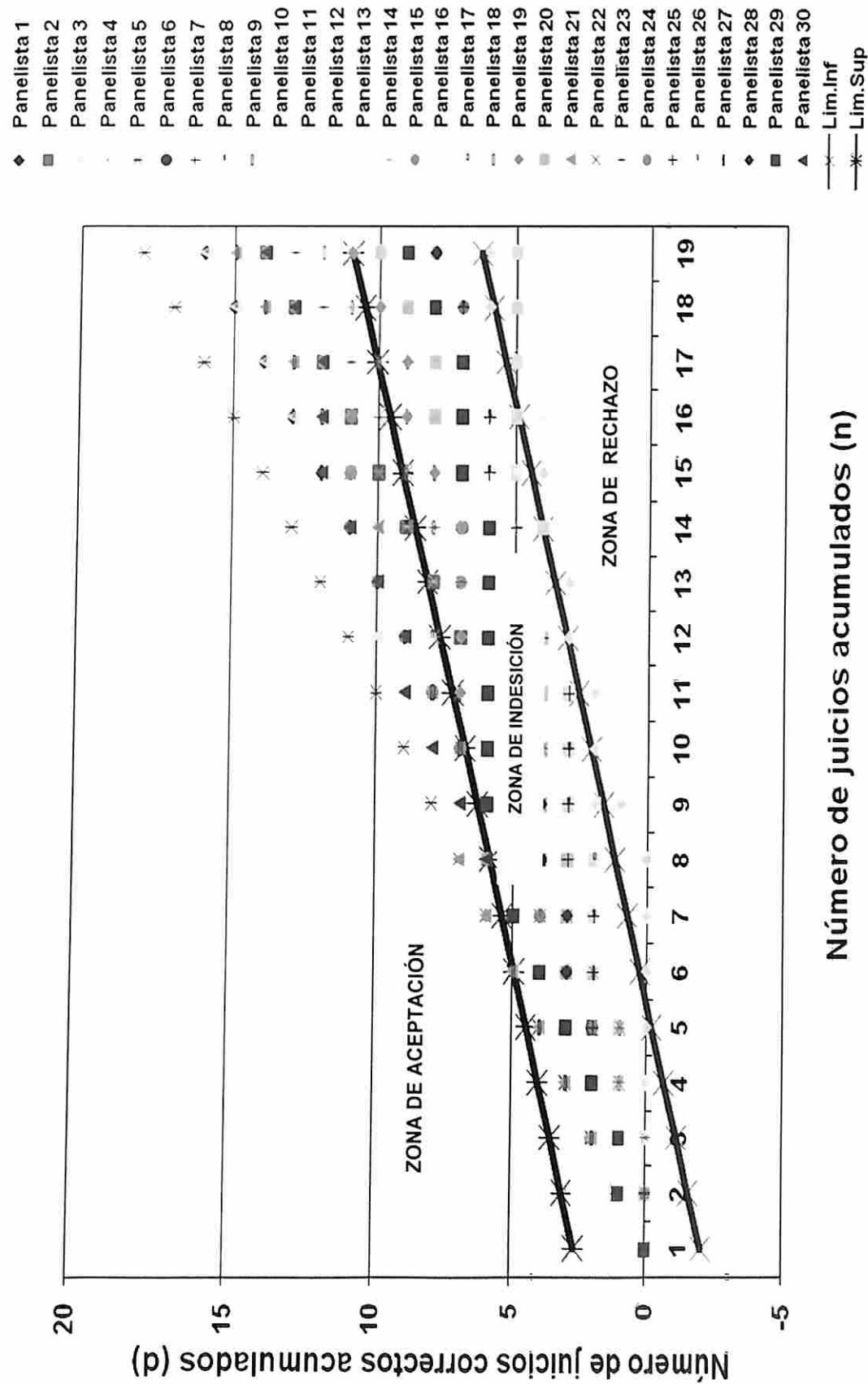


Figura 48. Resultados del Análisis secuencial durante la selección de panelistas con una prueba triangular.

4.7. Análisis Descriptivo Cuantitativo

Durante el desarrollo del Análisis Descriptivo Cuantitativo el panel generó 14 atributos. Dichos atributos fueron clasificados para facilitar su manejo durante las sesiones de trabajo como se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Clasificación de los atributos generados mediante el panel del QDA.

Clasificación	Atributos
Sabor	sabor salado, sabor ácido, sabor a caldo de pollo, sabor característico del huitlacoche guisado, sabor residual amargo
Aroma	aroma a epazote guisado, aroma a cebolla acitronada, aroma a elote hervido, aroma característico del huitlacoche guisado.
Color	saturación, brillo
Apariencia	apariencia grasa, apariencia viscosa
Textura	textura terrosa

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Los atributos generados mediante el panel, su concepto y las referencias empleadas se pueden ver en el Cuadro 13. Al inicio de la prueba se realizaron sesiones de entrenamiento cuantitativo empleando los formatos correspondientes con escalas de 15 cm (Anexo 3) para cada uno de los catorce atributos. El análisis de componentes principales (ACP) fue empleado para monitorear el desempeño de los panelistas.

Cuadro 13. Atributos sensoriales, conceptos y referencias empleados en el Análisis Descriptivo Cuantitativo para la evaluación de sopas de huitlacoche fresca y deshidratada.

Atributo	Concepto	Referencia	Intensidad	Forma de evaluación
Saturación	Grado de pureza de color; es decir, que tan cerca esta del gris o del matiz puro.	6 Pasas	14	Las muestras se observaron a 45°.
Brillo	Cantidad de luz reflejada	Caldo de Frijol La Costeña®	8	Las muestras se observaron a 45°.
Apariencia grasa	Presencia de partículas (gotas de grasa) en la superficie	Emulsión (agua-aceite vegetal comestible con canola y linaza Capullo®)	6.5	Las muestras se agitan tres veces a la izquierda y a la derecha; posteriormente se coloca una base oscura y se realiza la evaluación a 45°.
Viscosidad	Resistencia que presenta una sustancia a fluir	Caldo de frijol La Costeña®	12	Las muestras se inclinan aproximadamente 45° y se observa el tiempo que tarda en regresar a su posición original.
Aroma a epazote guisado	Aroma característico que presenta el epazote una vez sofreído.	1 hoja de epazote sofreído	15	Las muestras se acercan a una distancia de aproximadamente 5 centímetros de la nariz.
Aroma a cebolla acitronada	Aroma característico que presenta la cebolla una vez sofreída.	2 g de cebolla sofreída	14	Las muestras se acercan a una distancia de aproximadamente 5 centímetros de la nariz.
Aroma a elote hervido	Aroma característico que presenta el elote una vez hervido.	5 g de elote hervido La Huerta®	11	Las muestras se acercan a una distancia de aproximadamente 5 centímetros de la nariz.
Aroma	Aroma característico que presenta el huitlacoche una	2 agallas de huitlacoche	10	Las agallas se trituraron con una cuchara por aproximadamente 5

característico del huitlacoche guisado	vez sofreído.	sofreídas		segundos y se acercan a una distancia de aproximadamente 5 centímetros de la nariz.
Sabor salado	Sensación básica del gusto que se percibe principalmente en las regiones laterales de la lengua.	Solución salina Sal La Fina®	8	Se probó un sorbo de la muestra.
Sabor ácido	Sensación básica del gusto que se percibe principalmente como un aumento en la salivación.	Solución de ácido cítrico	14	Se probó un sorbo de la muestra.
Sabor a caldo de pollo	Sensación que despiden las sustancias lipofílicas de la grasa del pollo al ser sometido a un proceso térmico.	Solución de Knorr Suiza®	14	Se probó un sorbo de la muestra.
Sabor característico del huitlacoche guisado	Sabor característico que presenta el huitlacoche una vez sofreído.	2 Agallas de huitlacoche sofreídas	10	Las muestras se trituran con una cuchara por aproximadamente 5 segundos y se degluten esperando aproximadamente 10 segundos para evaluar el sabor.
Textura terrosa	Sensación de pequeñas partículas que se perciben en la boca al momento de probar las muestras.	Caldo de frijol La Costeña®	12	Se prueba un sorbo y se dispersa en la boca mediante movimientos oscilatorios.
Sabor residual amargo	Sensación básica del gusto que se percibe en la parte posterior de la lengua después de haber ingerido la muestra.	1 hoja de epazote sofreído	14	Se mastica 10 veces 1 hoja de epazote; se deglute y se esperan aproximadamente 10 segundos para evaluar el sabor.

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Los resultados obtenidos mediante el ACP para la primera y última prueba con base en el tratamiento 1 (sopa deshidratada) permitieron observar el progreso del panel. La primera prueba se realizó después de diez horas de entrenamiento; los resultados de la matriz de correlaciones obtenida mediante el ACP permitieron conocer la magnitud de la variabilidad de cada uno de los CP. El 100% de la explicación se obtuvo con los catorce componentes. Sin embargo la mayor variabilidad se explicó empleando únicamente los dos primeros siendo en este caso de 41.80%. Las variables que presentaron mayor peso en el CP1 fueron: el sabor a caldo de pollo, aroma a epazote guisado y el aroma a cebolla acitronada explicando el 25.52% de la variabilidad; para el CP2 el brillo y la apariencia grasa explicaron el 16.28%. La prueba final se llevo a cabo después de las 38 horas de entrenamiento y los dos CP explicaron el 36.71% de la variabilidad. Para este caso la variable con mayor peso en el CP1 fue el sabor acido explicando el 22.29% de la variabilidad; mientras que el CP2 explico únicamente el 14.42% encontrándose las variables textura terrosa y sabor a caldo de pollo.

Al realizar una comparación de la gráfica inicial de CP obtenida después de diez horas de entrenamiento y la gráfica de CP obtenida después de 38 horas de entrenamiento permitió evaluar el desempeño del panel. En la Figura 49 se observa que los panelistas aún no son reproducibles; debido a que los datos muestran una distancia considerable entre repeticiones; mientras que en la Figura 50 se aprecia la formación más compacta del grupo, y una menor distancia entre las repeticiones.

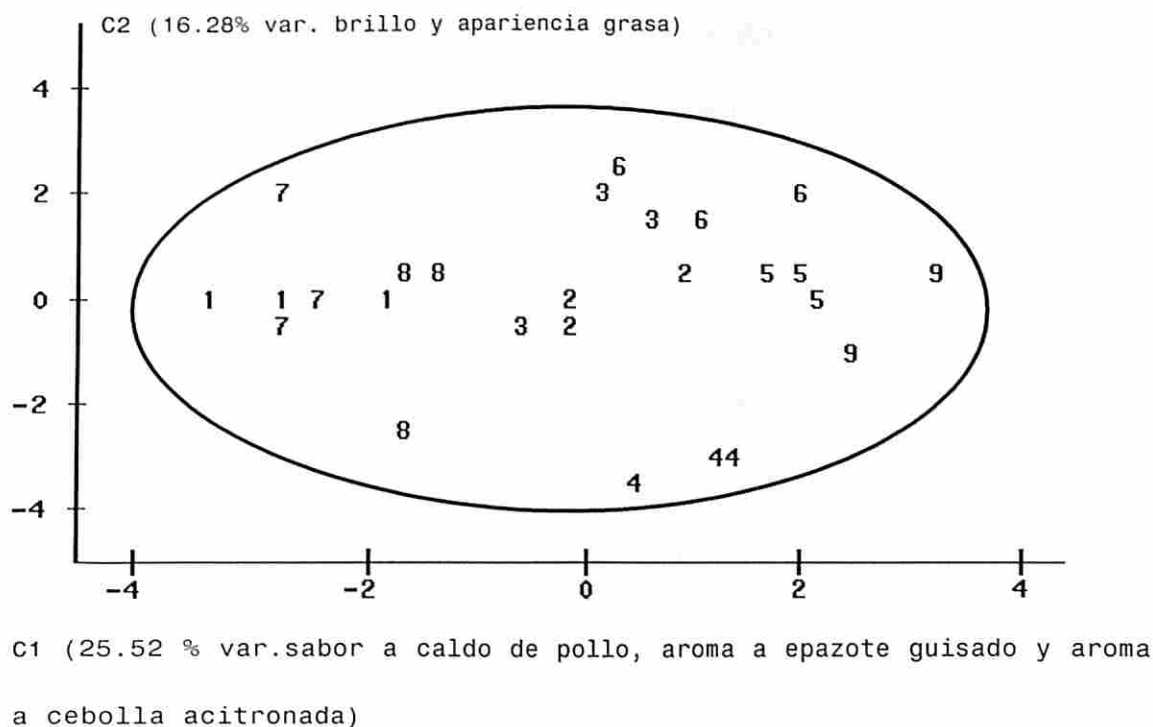


Figura 49. Análisis de Componentes principales aplicado para el monitoreo de panelistas después de ocho horas de entrenamiento del Análisis Descriptivo Cuantitativo.

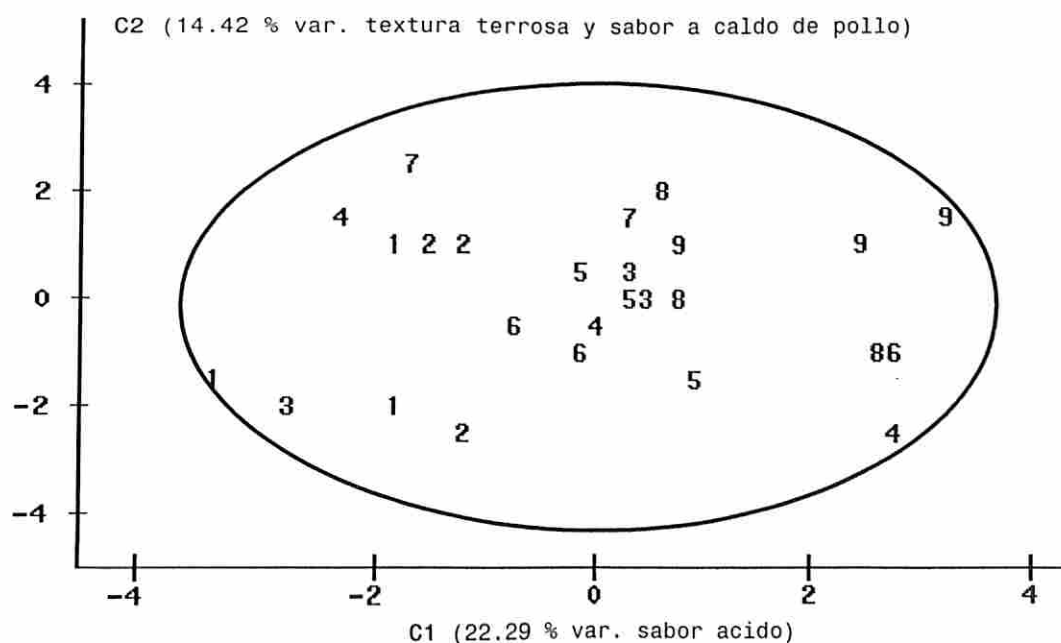


Figura 50. Análisis de Componentes principales aplicado para el monitoreo de panelistas después de 38 horas de entrenamiento del Análisis Descriptivo Cuantitativo.

Una vez que el entrenamiento de los panelistas mostró un buen desempeño en el trabajo grupal y su reproducibilidad, se realizó el análisis de varianza para un diseño en parcela dividida. Se consideraron validos los resultados al no encontrar interacción significativa ($p > 0.05$) entre panelista*tratamiento para cada una de las catorce variables analizadas, siendo el principal indicador para monitorear el desempeño del panel. Los resultados del ANOVA muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los 14 atributos para las 2 sopas analizadas; lo que indica que al menos uno de los tratamientos es diferente (Cuadro 14).

Cuadro 14. Valores de las medias para la intensidad de los atributos sensoriales en la sopa deshidratada y fresca.

Atributo	Sopa	Sopa
	Deshidratada	Fresca
Sabor salado	10.26667 a	8.57037 b
Sabor ácido	11.58519 a	7.68889 b
Sabor a caldo de pollo	11.22222 a	5.29963 b
Sabor característico del huitlacoche guisado	4.82593 b	8.28889 a
Sabor residual amargo	5.67037 b	11.67037 a
Aroma a epazote guisado	11.43704 a	6.56667 b
Aroma a cebolla acitronada	11.57778 a	5.49259 b
Aroma a elote hervido	9.22963 a	5.60 b
Aroma característico del huitlacoche guisado	4.64815 b	7.87778 a
Saturación	11.45556 a	7.62963 b
Brillo	6.45926 b	9.47407 a
Apariencia grasa	5.60741 a	3.55185 b
Viscosidad	5.83333 a	9.56667 b
Textura terrosa	5.37037 b	9.67037 a

Letras iguales en filas indican que no existe diferencia significativa con $\alpha=0.05$.

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

De acuerdo a Stone, 1992 un método para la información de resultados apropiado es la gráfica radial (Figura 51), en la cual se aprecian los atributos y la magnitud de la diferencia que caracteriza a la sopa fresca y deshidratada.

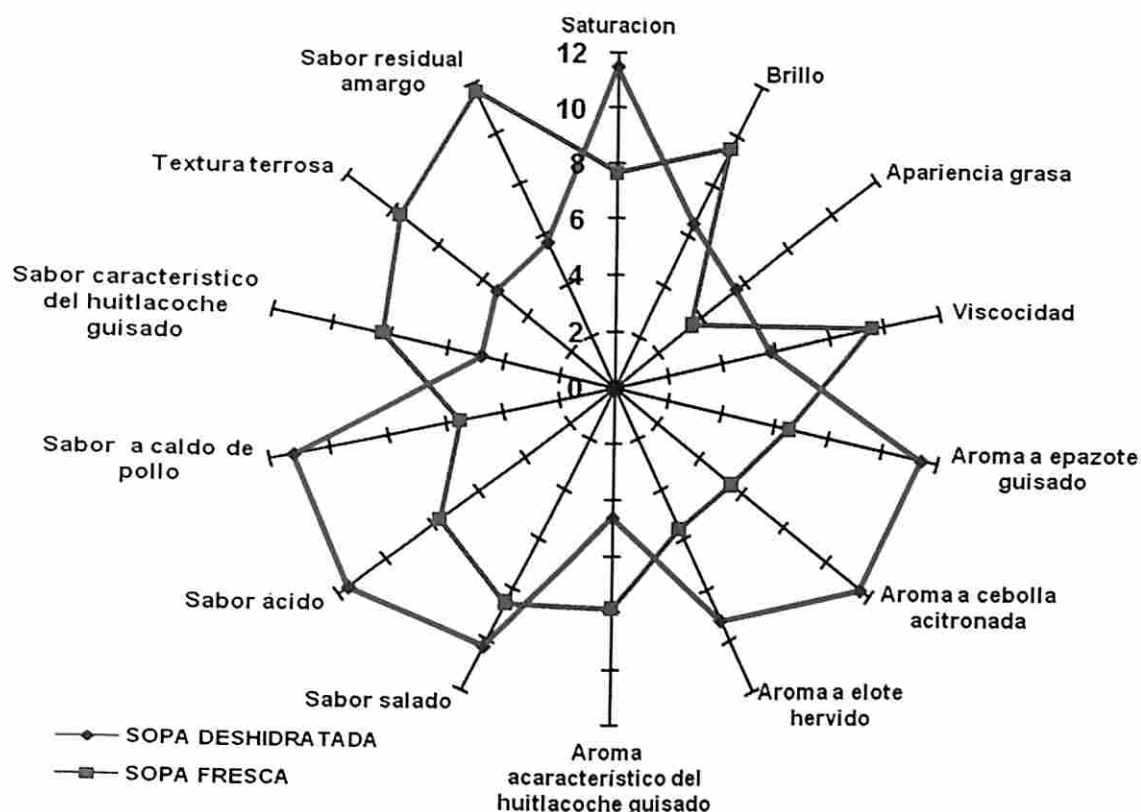


Figura 51. Atributos de apariencia, aroma, sabor, color y textura considerando por un panel de análisis descriptivo cuantitativo para sopas de huitlacoche fresca y sopa deshidratada.

El desarrollo de sopas como un producto conveniente es originado en Francia, donde la comida completa consta de estas. Las sopas están preparadas con ingredientes regionales, baratos y disponibles. Este concepto básico ha sido desarrollado para producir sopas en diferentes formas y sabores como un producto de comodidad para el consumidor (Reed y Strugnell, 2000). Dichas

características aplican en el producto obtenido. Se aprecia claramente que la sopa deshidratada presenta mayor magnitud en los parámetros saturación, aroma a epazote guisado, aroma a cebolla acitronada, aroma a elote hervido, sabor salado, sabor ácido, sabor a caldo de pollo, mientras que la sopa fresca se caracteriza por presentar mayor brillo, viscosidad, aroma característico del huitlacoche guisado, sabor característico del huitlacoche guisado, textura terrosa y sabor residual amargo.

Los resultados obtenidos en la fase sensorial no pueden ser comparados con la literatura debido a que no se encontró referencia alguna; sin embargo se encontraron trabajos similares en los que se han evaluado sensorialmente sopas por ejemplo: Kim *et al.*, 2002 compararon la calidad sensorial de una sopa de espinacas elaborada mediante el método "*sous vide*" (una variante mejorada del método "cook-chill", consiste en empacar al vacío un alimento crudo, particularmente se cocinan alimentos en bolsas de plástico, se pasteurizan en agua caliente y se enfrían rápidamente seguidas por un almacenamiento en frío. El producto almacenado en frío es consumido después de recalentarse. La calidad sensorial de "*sous vide*" cocinada como sopa de espinacas fue comparada con una sopa fresca después de recalentarse. El producto fue recalentado por inmersión en agua. El análisis descriptivo cuantitativo fue empleado para evaluar los atributos sensoriales de la sopa fresca y la sopa recalentada. Una hoja con una escala lineal y no estructurada de 10 cm anclada a ambos lados, fue empleada para medir los valores sensoriales para gusto, aroma, color, textura y aceptabilidad global. La escala

empleada para los términos gusto, aroma y aceptabilidad global fueron desde “me disgusta extremadamente” hasta “me gusta extremadamente”. El color fue empleado en términos de “muy verde” a “gris pálido”; y para la textura “muy crujiente” a “muy húmeda”. Concluyendo que la sopa de espinacas procesada por el método *sous vid* dio una calidad sensorial comparable a la de la sopa fresca. Lyly *et al.*, 2004, estudiaron el efecto de la concentración y peso molecular de dos preparaciones de avena¹ (una avena tipo salvado producida por molienda en seco) y avena² (preparación de barley β -glucano soluble) y cebada (preparación β -glucano soluble de cebada) en la percepción de calidad sensorial para un prototipo de sopa instantánea antes y después del enfriamiento. Encontrando que el enfriamiento no tuvo un efecto notable en la calidad sensorial de las sopas. A la misma concentración las sopas elaboradas con el tipo salvado fueron más viscosas y fueron percibidas con mayor cuerpo que las sopas elaboradas con el procesado. Las sopas de cebada presentaron principalmente una alta intensidad en el sabor en comparación con las sopas de avena.

Por otro lado, la explicación que se puede dar a los resultados sensoriales obtenidos, se fundamenta en las posibles reacciones ocurridas durante el proceso de deshidratación; por lo que no se descarta la posibilidad de que las condiciones de trabajo pudieran haber repercutido en las características finales del huitlacoche deshidratado.

La bibliografía menciona que el secado aumenta la duración de la conservación del producto pero modifica su calidad: aspecto, textura, gusto y composición nutricional. Las degradaciones del producto están ligadas principalmente a la duración y temperatura de secado. Muchas reacciones físico-químicas son activadas por la temperatura y en consecuencia el secado provoca una aceleración de estas reacciones. Estas transformaciones son inevitables, pero según la composición del alimento y los parámetros de secado se favorecerán unas reacciones y se limitarán otras. Es importante, por tanto, conocer que reacciones van a constituir el factor predominante de alteración, con el fin de ajustar mejor las condiciones del tratamiento de conservación. Por ejemplo, Sivetz y Foote (1963) han reportado que el secado de alimentos generalmente está acompañado de una gran pérdida de volátiles. En el caso del secado de café; este retiene únicamente el 10% de los aromas durante el proceso; los cuales se encuentran presentes en el café preparado. La concentración de extractos ha mostrado ser el factor de mayor influencia para la retención del sabor durante el secado de café. Un alto extracto de sólidos (cercano al 50%) se pierden y únicamente una pequeña parte de los sabores están presentes en la concentración de los extractos. Esto podría explicar de cierto modo los resultados obtenidos durante el QDA para el caso de la sopa deshidratada; ya que dentro del grupo de atributos generados por el panel sensorial se encontró un menor aroma y sabor característico del huitlacoche. Las principales alteraciones observadas en los productos deshidratados pueden ser químicas o físicas y están gobernadas por las isothermas de sorción como se aprecia en la Figura 52.

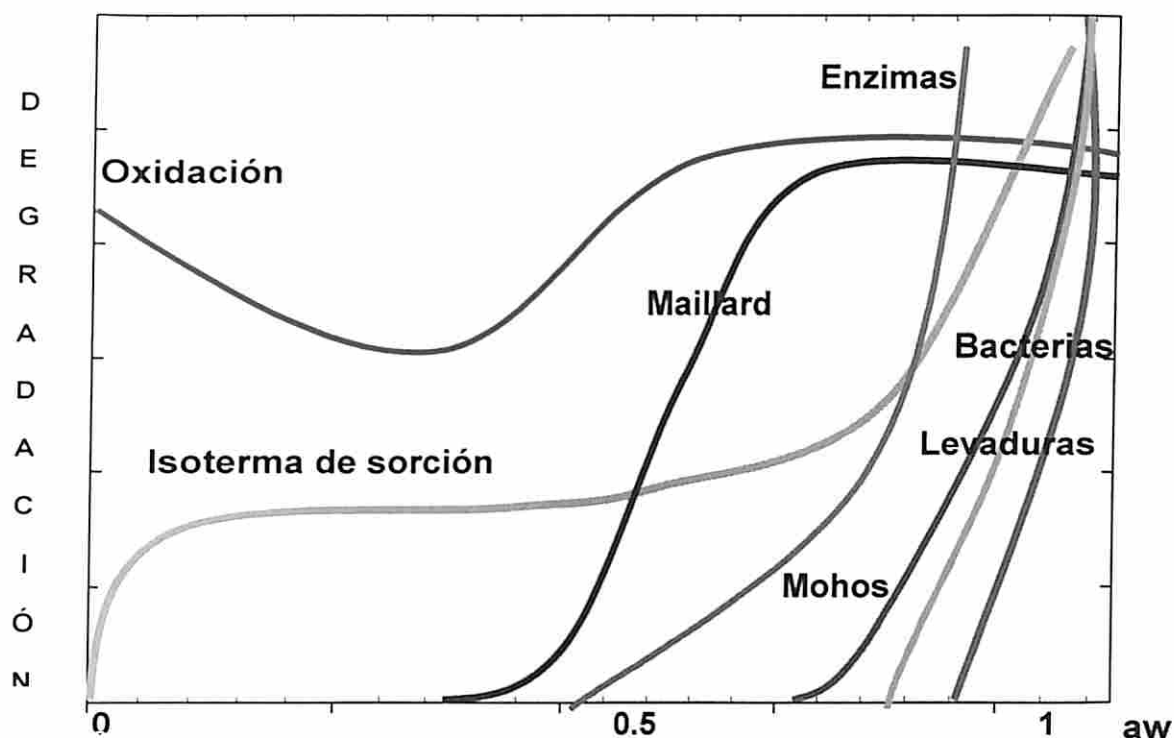


Figura 52. Degradación en función de la actividad de agua (Labuza, 1971; citado por Casp y Abril, 1999; Barbosa y Vega, 2000)

Por tanto las principales alteraciones de naturaleza física y química que pudieron haberse producido dadas las condiciones experimentales son la transición vítrea y la Reacción de Maillard. La primera debida a que durante el secado de los alimentos puede afectar profundamente a la calidad del producto, tanto a sus características físicas como químicas. Las transiciones vítreas pueden causar cambios en la difusividad de los componentes, produciéndose como resultado pérdidas de aromas (Casp y Abril; 1999); lo cual explicaría los resultados obtenidos para la sopa elaborada a partir de material deshidratado de acuerdo al Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA).

La segunda reacción pudo ser debida a la temperatura experimental de proceso (70 ± 2 °C), a las características finales del producto deshidratado ($a_w = 0.329$ y $X_e = 6.08\%$) y al tiempo de almacenamiento (aproximadamente de tres a cuatro meses). Jing y Kitts (2002), indican que las reacciones de Maillard ocurren durante el procesado y almacenamiento de alimentos. Se consideran responsables del oscurecimiento no enzimático. La Reacción de Maillard ocurre vía una serie de reacciones complejas definidas entre azúcares reductores y grupos amino en aminoácidos y proteínas (Troller y Christian, 1978). Estas reacciones provocan pérdidas en el valor nutritivo, formación de pigmentos pardos, así como la formación de sabores especiales. La reacción posee una velocidad baja en el intervalo de humedad baja; por ejemplo en el intervalo de máxima velocidad en frutas se da para actividad de agua de 0.65 a 0.75. Aunque las reacciones de Maillard pueden producir ocasionalmente algún efecto indeseable, son consideradas de gran interés en la industria de los alimentos porque entre sus productos se incluyen precursores naturales de sabores, aromas, componentes coloreados deseables y gustos en dichos alimentos. (Brun-Mérimée *et al.*, 2004).

4.7.1. Características físicas y químicas de las sopas

De los atributos generados en el Análisis descriptivo Cuantitativo se eligieron únicamente aquellos que se pudieran cuantificar (saturación, brillo, viscosidad, sabor ácido); además se midió el pH y el ángulo de tono para cada una de las sopas estudiadas (Figura 53) con el objetivo de comparar los resultados obtenidos en el QDA.

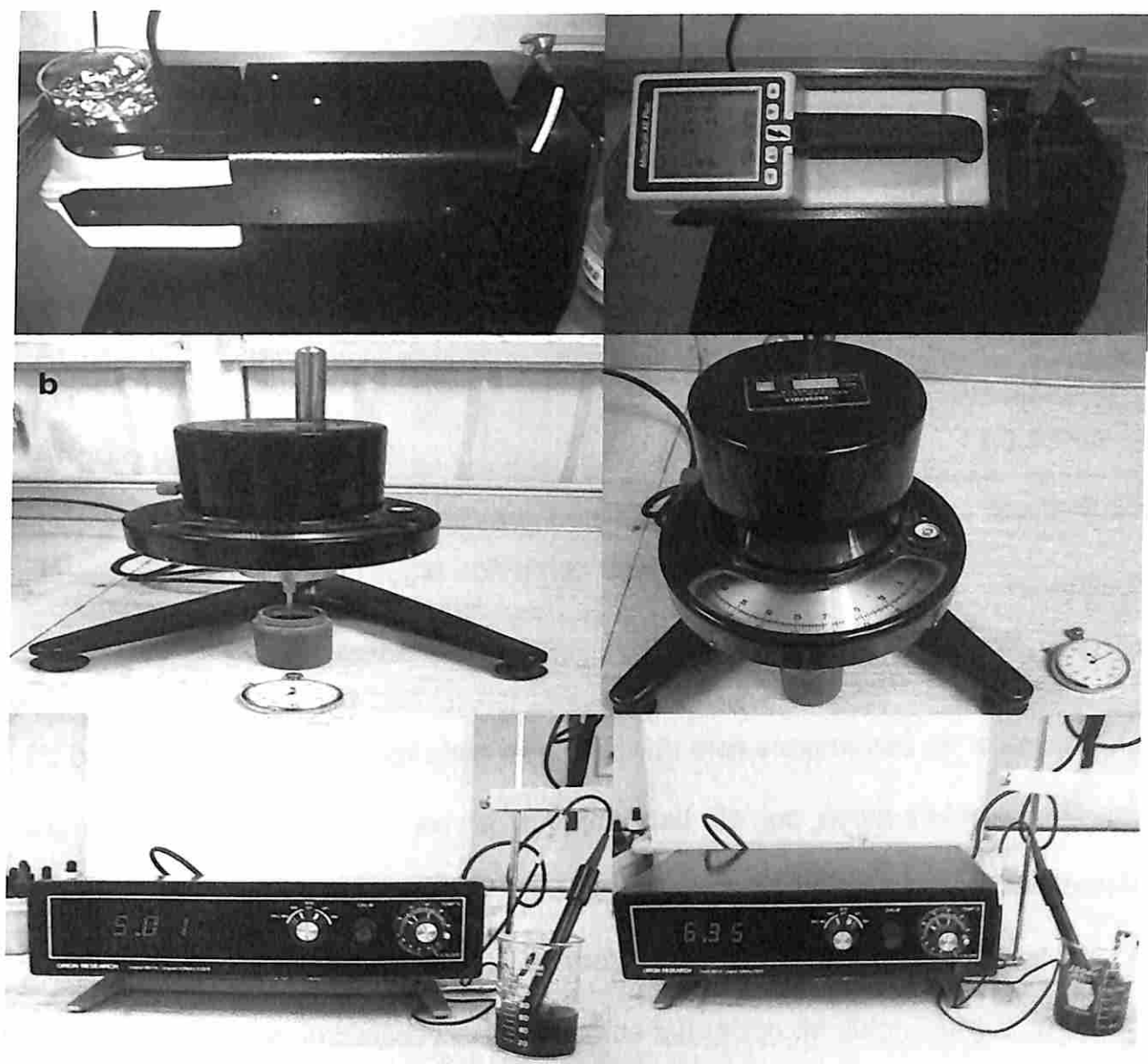


Figura 53. Medición de las variables fisicoquímicas en las sopas fresca y deshidratada. a) Medición de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*). b) Medición de viscosidad. c) Medición de pH.

Mediante un análisis de varianza con un $\alpha = 0.05$ se realizó el análisis de los datos obtenidos encontrándose diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para las variables saturación, brillo, viscosidad, acidez y pH; para el ángulo de tono no se detectó diferencia significativa. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Valores promedio medidos para los atributos obtenidos durante el desarrollo del QDA.

Atributo	Sopa Deshidratada	Sopa Fresca
Saturación	1.87133 b	3.52167 a
Luminosidad	10.90667 a	10.12667 b
Viscosidad	91.167 b	277.500 a
Acidez titulable	0.086333 a	0.051666 b
pH	5.72333 b	6.36666 a
Ángulo de tono	62.053 a	63.933 a

Letras iguales en filas indican que no existe diferencia significativa con $\alpha=0.05$.

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

4.7.1.1. Color

El color es uno de los atributos de apariencia mas importantes de los materiales alimenticios, influyendo en la aceptabilidad de los consumidores (Maskan, 2001), Además de la aceptabilidad de los consumidores, el color es también empleado para procesos de control. Especialmente las operaciones de horneado son controladas por el grado de formación de color, porque lo marrón de los pigmentos se incrementa como en las reacciones de obscurecimiento y caramelización (Saklar *et al.* 2001). En la Figura 54 se presenta el color de las sopas elaboradas. Como puede apreciarse la pureza de ambos tratamientos fue muy baja, por lo que se encuentra dentro de la escala de los colores grises. Siendo la sopa elaborada con producto deshidratado relativamente más gris. En lo que respecta al ángulo de tono ambas sopas no mostraron diferencia.

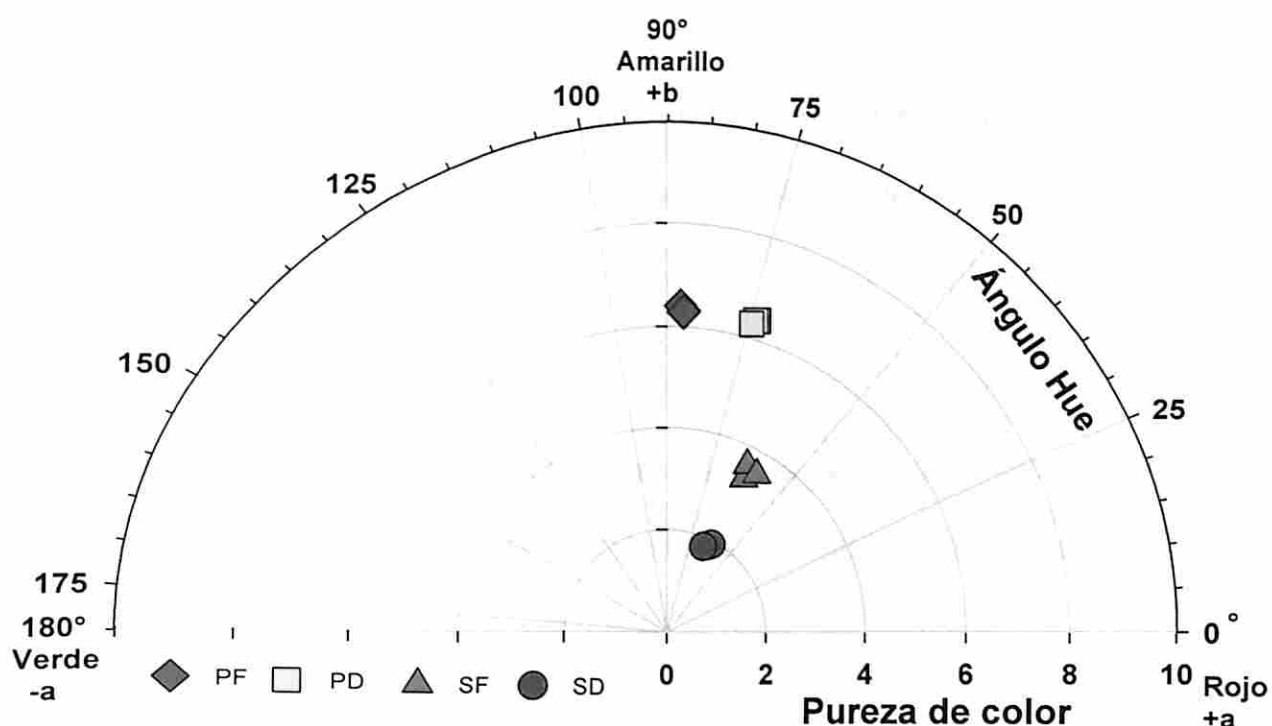


Figura 54. Diagrama de cromaticidad para producto fresco (PF) y producto deshidratado (PD); así como para la sopa fresca (SF) y sopa deshidratada (SD).

4.7.1.2. Viscosidad

La viscosidad está relacionada con el peso molecular y depende en gran medida de la concentración. La viscosidad también tiene un efecto en la calidad sensorial del producto. Los productos alimenticios requieren presentar propiedades sensoriales satisfactorias, porque el sabor y la textura de los alimentos presentan una fuerte influencia en las decisiones de nuevos productos alimenticios (Lyly *et al*; 2004). Las mediciones de viscosidad fueron realizadas por triplicado a ambas sopas a una temperatura de 20 °C y una velocidad de 6, las lecturas se tomaron en un tiempo de 30 segundos. Los resultados demostraron que la viscosidad para la sopa fresca es mayor .

4.7.1.3. Acidez titulable

Los resultados obtenidos con base a la acidez titulable indicaron que la sopa fresca presenta menor contenido de ácido cítrico (0.086) en comparación con la sopa deshidratada (0.052).

4.7.1.4. pH

Los valores de pH promedio obtenidos para la sopa fresca fueron de 5.7; mientras que para la sopa deshidratada se encontraron valores de 6.36, siendo la sopa deshidratada más ácida.

Las mediciones instrumentales fueron contrastadas con las obtenidas sensorialmente; lo que permitió corroborar el buen desempeño del panel sensorial durante el desarrollo del QDA. Lee *et al.* (1999) relacionaron el análisis descriptivo y los datos de la textura instrumental para tomates procesados cortados en cuadritos; concluyendo que el análisis descriptivo proporciona una mejor evaluación de la calidad textural para tomates cortados en cuadritos que las mediciones instrumentales.

Las mediciones sensoriales e instrumentales se han dirigido y relacionado con las mediciones en productos alimenticios tales como chícharos congelados, arroz, manzanas y nueces, entre otros. Aunque el principal objetivo de la mayoría de los estudios es medir las propiedades sensoriales, la evaluación sensorial es costosa y consume tiempo. Además muchos investigadores eligen realizar mediciones instrumentales y relacionar estas mediciones con

evaluaciones sensoriales. En tal caso, es crucial extraer e identificar las mediciones instrumentales que se correlacionan mejor a los atributos sensoriales de interés (Lee *et al.*, 1999).

4.8. Prueba de aceptabilidad global

Se encontraron diferencias significativas en la aceptabilidad global para las poblaciones estudiadas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Aceptabilidad global de sopa de huitlacoche fresca y deshidratada en tres poblaciones.

Factor Nivel		Medias de aceptabilidad
Texcoco		6.70 a ^a
Puebla		6.44 a b
Chapingo		6.10 b
Fresca		6.16 a
Deshidratada		6.67 b
Interacción Pob*Sop		
Puebla	Fresca	6.00 b
Puebla	Deshidratada	6.89 a
Texcoco	Fresca	6.63 a
Texcoco	Deshidratada	6.78 a
Chapingo	Fresca	5.85 b
Chapingo	Deshidratada	6.36 a b

^a Letras iguales en filas indican que no existe diferencia significativa con $\alpha=0.05$.

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Existieron diferencias en el grado de aceptabilidad entre las poblaciones de Texcoco y Chapingo, sin embargo no se detectaron diferencias entre las poblaciones de Texcoco y Puebla y las poblaciones de Puebla y Chapingo; se encontró significancia entre la sopa formulada con huitlacoche fresco y deshidratada ($P \leq 0.05$), se observó que la sopa formulada con huitlacoche

deshidratada ($P \leq 0.05$), se observó que la sopa formulada con huitlacoche deshidratado tuvo mayor aceptabilidad en las población de Puebla y Texcoco; no detectándose diferencias significativas de esta última con la sopa formulada a partir de huitlacoche fresco. Independientemente de la formulación las sopas presentaron una menor aceptabilidad en la población de Chapingo (Figura 55).

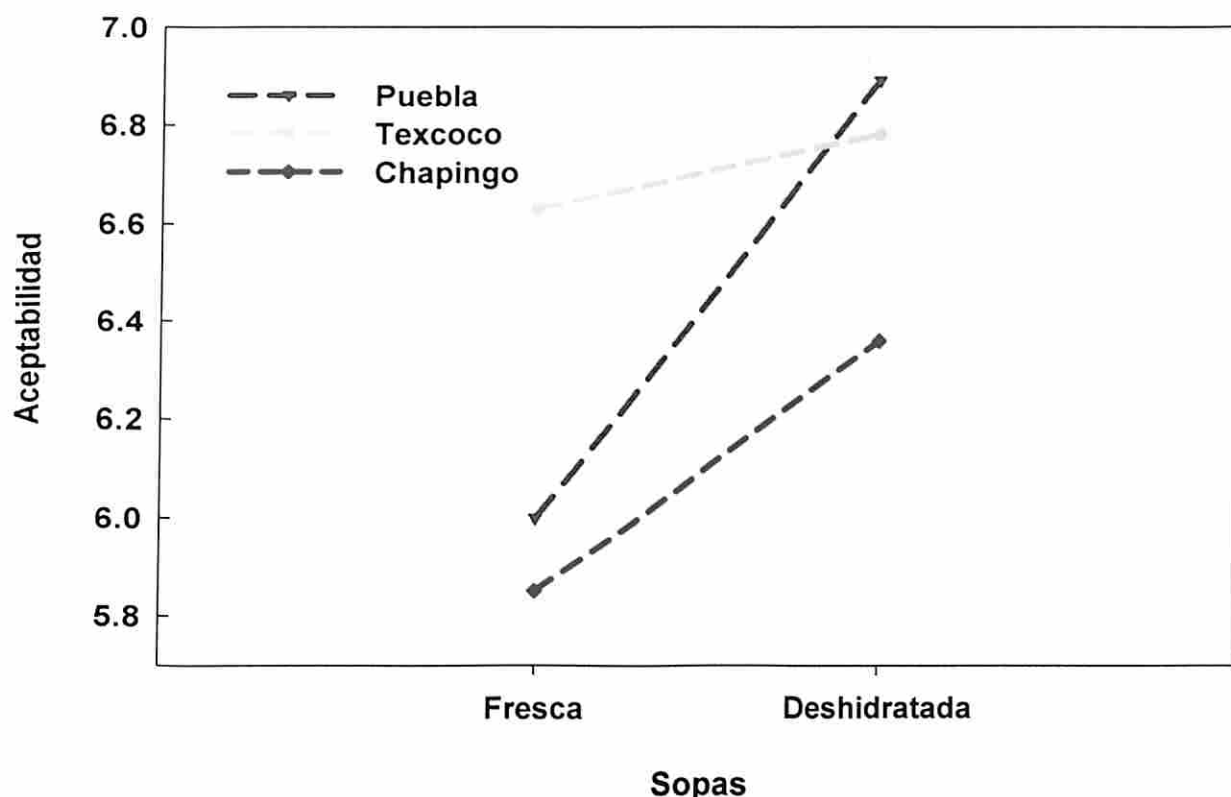


Figura 55. Aceptabilidad global para sopa fresca y de huitlacoche en tres diferentes poblaciones (Puebla, Texcoco y Chapingo).

La sopa deshidratada presentó mayor aceptabilidad global en las tres poblaciones de estudio, probablemente la aceptabilidad fue debida a la posible Reacción de Maillard, la cual fue favorable para el producto final y por consecuencia para la sopa deshidratada.

Muchos alimentos son consumidos en forma deshidratada porque la eliminación del agua y el calentamiento asociados al proceso les da un sabor distintivo y apetecible. En otros casos la deshidratación es un paso necesario durante la producción (Chaves., Sgroppo., y Avanza., 2003).

Chaves., Sgroppo., y Avanza., 2003, mencionan que un alimento deshidratado aceptable debe competir en precio con otros tipos de alimentos conservados, tener un sabor, olor y apariencia comparable con el producto fresco o con productos procesados por otros medios, tiene que reconstituirse fácilmente, retener los valores nutritivos y ser estable durante el almacenamiento.

Di-Monaco *et al.*, 2006; investigaron si un producto etiquetado con la leyenda “elaborado con ingredientes orgánicos” y “tecnología de estabilización” afectan la aceptabilidad de consumo de sopas de vegetales. Fueron entrevistados tres grupos conducidos en orden preliminar a la información obtenida sobre la apropiada terminología a emplearse en la prueba de aceptabilidad. Los 109 jueces fueron reclutados de acuerdo a las medias obtenidas mediante un cuestionario informativo. Entonces se dividieron en tres grupos de acuerdo a la edad, sexo y preferencia de sopa. Cada grupo evaluó tres diferentes tipos de sopas en dos fases, la primera a ciegas y la segunda con información. Para finalizar la segunda fase los participantes llenaron un cuestionario. Los resultados demostraron que si los consumidores están informados de que la sopa está preparada con ingredientes orgánicos, pueden mejorar sus valores de aceptabilidad en cualquier tipo de sopa. La información sobre la

estabilización tecnológica no tuvo efecto. Los resultados revelan que los consumidores aprecian las sopas elaboradas con ingredientes orgánicos, leguminosas y cereales y sin condimentos. Sin embargo, se encontraron diferencias entre los subgrupos.

Sosa *et al.* (2007), evaluaron la aceptabilidad de alimentos entre poblaciones de bajo ingreso. Probaron dos lugares (hogares y lugares centrales) y dos escalas (escala nominal y escalas hedónica); 112 sujetos desde sus hogares evaluaron cuatro muestras (dos leches de chocolate y dos sopas). Las muestras evaluadas presentaron valores superiores cuando se evaluaron en las casas que cuando se evaluaron en los lugares centrales. Si la discriminación de la aceptabilidad sensorial es de interés, la prueba en los lugares centrales podría ser más apropiada para poblaciones de ingreso bajo. Estadísticamente ambas escalas proporcionaron resultados similares; sin embargo, los consumidores encontraron que la escala numérica les era más familiar y fácil de usar.

4.9. Análisis microbiológicos

Los resultados microbiológicos realizados al huitlacoche deshidratado, a la sopa fresca y deshidratada fueron obtenidos mediante las tablas del NMP (número más probable) (Anexo 2) y además fueron contrastados con la Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (Cuadro 17 y 18); así como con las Recomendaciones Microbiológicas de la Base de datos de la OMS (2005)

(Cuadro 19), debido a que no se encontró una Norma Oficial (2003) específica para alimentos deshidratados.

Cuadro 17. Límites microbiológicos para frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas y liofilizadas.

Agente microbiano	Límite por g.	
	Mínimo ⁻	Máximo ⁺
Mohos	10	10 ²
Levaduras	10	10 ²
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia/25 g	-----

- Límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable. En general, un valor igual o menor indican lotes rechazables.

+ Los valores de recuentos microbianos superiores son inaceptables, el alimento presenta un riesgo para la salud.

Fuente: Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.

Cuadro 18. Límites microbiológicos para sopas cremas salsas y purés de legumbres u otros deshidratados que requieren cocción.

Agente microbiano	Límite por g.	
	Mínimo ⁻	Máximo ⁺
Aerobios mesofilos	10 ⁴	10 ⁵
Coliformes	10	10 ²
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia/25 g	-----

- Límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable. En general, un valor igual o menor indican lotes rechazables.

+ Los valores de recuentos microbianos superiores son inaceptables, el alimento presenta un riesgo para la salud.

Fuente: Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.

Cuadro 19. Recomendaciones microbiológicas para frutos y vegetales deshidratados de acuerdo a la Base de datos para Alimentos OMS, 2005.

Agente microbiano	Límite por g.	
	Mínimo ⁻	Máximo ⁺
Aerobios mesofilos	-----	$< 10^5$
Coliformes	$< 2 \times 10^1$	$< 10 \times 10^1$

- Límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable. En general, un valor igual o menor indican lotes rechazables.

+ Los valores de recuentos microbianos superiores son inaceptables, el alimento presenta un riesgo para la salud.

Fuente: Base de Datos para alimentos OMS, 2005. Recomendaciones Microbiológicas.

Los resultados obtenidos durante el recuento de microorganismos mesófilos aerobios para el producto deshidratado y sopas se muestran en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Bacterias mesófilas aerobias en el producto deshidratado, sopa fresca y sopa deshidratada.

Bacterias mesófilas aeróbicas	
Muestra	UFC (g)
Producto Deshidratado	4.8×10^3
Sopa Deshidratada	3.3×10^1
Sopa Fresca	3.3×10^2

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Dichos resultados indican que la carga microbiana para el material deshidratado y para las sopas se encuentra dentro de los límites de especificación, esto con

base en las Recomendaciones Microbiológicas y a la Norma Sanitaria (Figura 56).

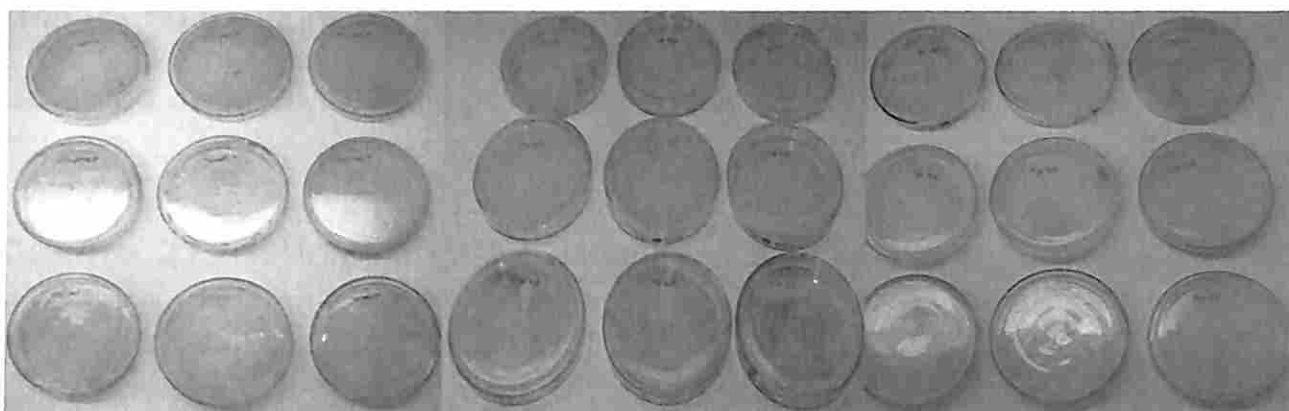


Figura 56. Placas empleadas durante la cuantificación de bacterias mesófilas aerobias en material deshidratado, sopa deshidratada y sopa fresca.

Cabe señalar que durante el conteo en placa para mesófilos aerobios se observó la presencia de colonias características de polvo y tierra (tamaño grande, forma irregular y plana) las cuales no fueron consideradas durante el conteo; posiblemente tenga que ver con el lugar de adquisición o con el lugar de almacenamiento (Figura 57).

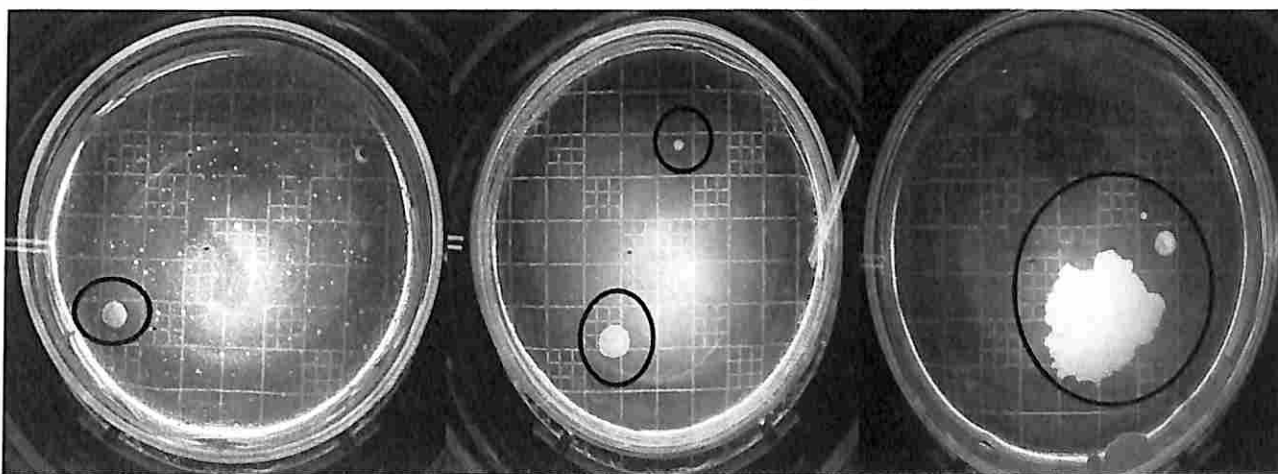


Figura 57. Conteo en placa de bacterias mesófilas aerobias en material deshidratado, sopa deshidratada y sopa fresca.

Respecto a los resultados encontrados para coliformes totales como se aprecia en el Cuadro 21, tanto el material deshidratado (Figura 58) como ambas sopas (Figura 59 y Figura 60) se encuentran dentro de los límites indicados por lavase de datos de la OMS, 2005 y la Norma Sanitaria

Cuadro 21. Coliformes totales en producto deshidratado, sopa fresca y sopa deshidratada.

Coliformes totales	
Muestra	NMP (mL)
Producto Deshidratado	< 3.0
Sopa Deshidratada	< 3.0
Sopa Fresca	< 3.0

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

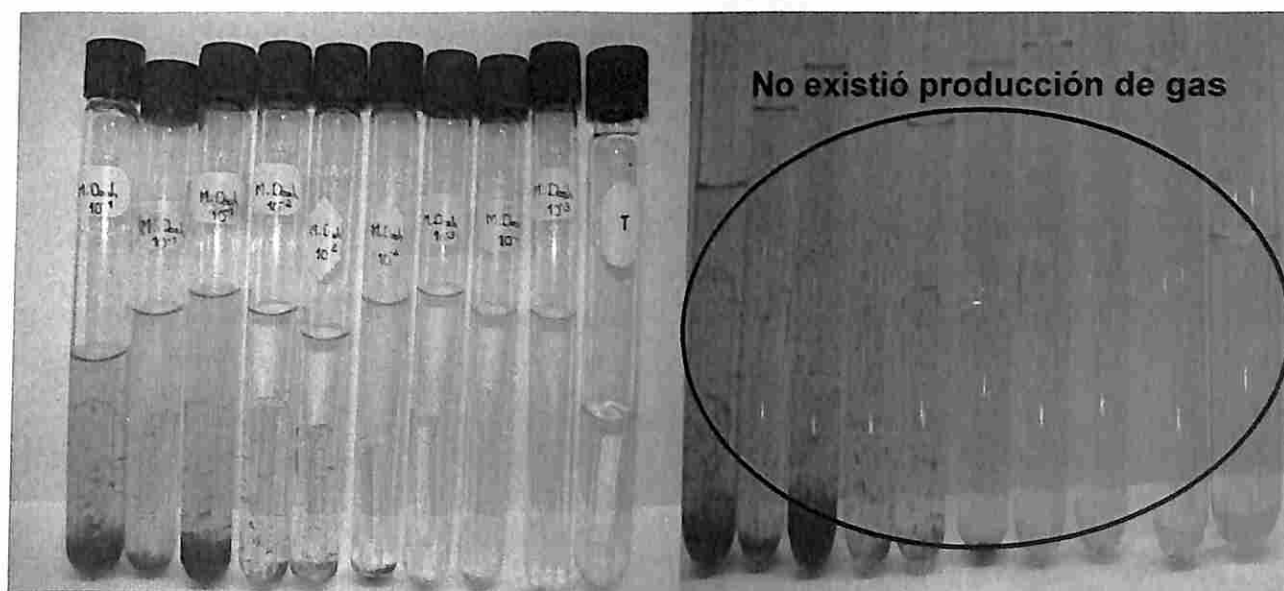


Figura 58. Resultados obtenidos para coliformes en el material deshidratado.



Figura 59. Resultados obtenidos para coliformes en la sopa Deshidratada

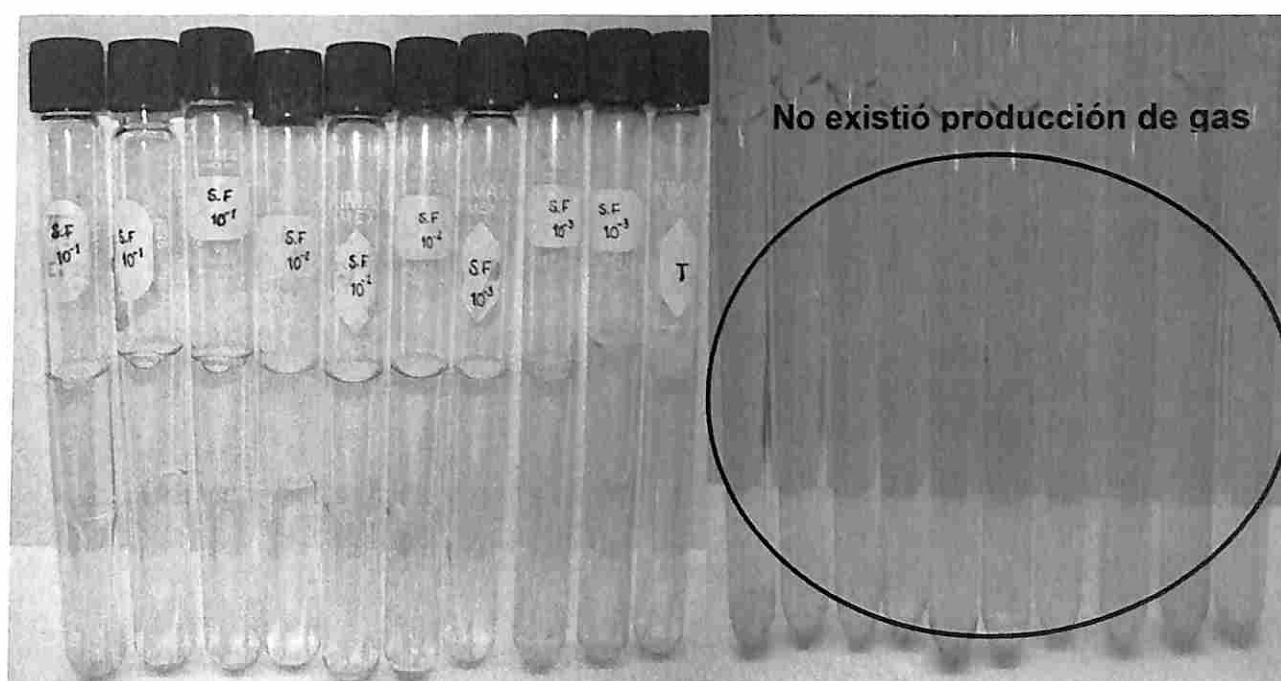


Figura 60. Resultados obtenidos para coliformes en la sopa Fresca.

V. CONCLUSIONES

1. El secado de huitlacoche a 70 ± 2 °C presentó una humedad crítica de 9.1 gH₂O/g.m.s.. En dichas condiciones, se tuvo un breve periodo de velocidad de secado constante, de modo que el secado del huitlacoche ocurre principalmente en el período de velocidad de secado decreciente. La humedad final alcanzada fue superior al 7%. El pH del huitlacoche durante el secado fue ácido y se mantuvo relativamente estable, oscilando entre 4.99 y 5.28. El huitlacoche en el transcurso del proceso de deshidratación se obscureció, si bien no existieron cambios importantes en la saturación del color, la luminosidad pasó de 37.8 a 24.9 y el ángulo de tono de 87.2 a 73.9 %, ambos cambios fueron estadísticamente diferentes ($Pr \leq 0.05$).
2. De acuerdo a la clasificación de Brunauer et al. (1940) las isothermas de desorción a 25 °C y de adsorción a 16 °C, 25 °C y 35 °C presentaron un patrón del tipo III. Este hecho podría atribuirse a que el tipo de carbohidratos presentes en el huitlacoche pudieran presentar la propiedad de cambiar su estructura cristalina a una amorfa, lo cual podría conferir a matriz del producto la propiedad de interactuar

fácilmente con el agua. Sin duda, es necesario aportar evidencia experimental para corroborar estas características.

3. Al comparar las isothermas de desorción con las de adsorción se observó que ambos tipos de isothermas prácticamente se sobreponen, por lo que no existe histéresis.
4. El valor promedio del contenido de humedad en la monocapa para huitlacoche deshidratado a una temperatura de 70 ± 2 °C fue de 4.05 % (base seca), dicho valor corresponde a una actividad acuosa de 0.24.
5. El modelo de Peleg (1993) proporcionó el mejor ajuste para los datos experimentales de las isothermas de desorción y adsorción del huitlacoche. En todos los casos el coeficiente de determinación fue superior a 0.98.
6. En las pruebas de almacenamiento del producto deshidratado, se presentó crecimiento de microorganismos a actividades de agua superiores a 0.6 después de 13 días; encontrándose principalmente la presencia de *Aspergillus sp.* y *Penicillium s.*. Este hecho abre nuevos desafíos en el diseño de empaques del producto deshidratado, sobre todo cuando el producto pudiera estar orientado a las regiones cálidas húmedas de nuestro país.

7. Las sopas de huitlacoche deshidratado y fresco fueron percibidas como diferentes; debido a que la proporción de personas que detectaron diferencia resultó mayor del 30%.
8. El Análisis Descriptivo Cuantitativo permitió comparar y caracterizar sensorialmente los principales atributos de las sopas de huitlacoche. La sopa deshidratada presentó mayor magnitud en los atributos: saturación, aroma a epazote guisado, aroma a cebolla acitronada, aroma a elote hervido, sabor salado, sabor ácido, sabor a caldo de pollo, pero también se encontró un menor aroma y sabor característico del huitlacoche guisado. Las mediciones sensoriales fueron contrastadas con las instrumentales corroborando el buen desempeño del panel.
9. Existieron diferencias en el grado de aceptabilidad entre las poblaciones de estudio; así como entre las sopas evaluadas e independientemente de la formulación la sopa deshidratada presentó una mayor aceptabilidad.

VI. LITERATURA CITADA

- 📖 Agrios, G. N. 1998. *Fitopatología*. 2da. Edición. 4ta. Reimpresión. Ed. Limusa. México, D. F. 838 PP.
- 📖 Aguirre J.R y Viollaz P.,E. 1988. The temperatura dependence of isotheric heat of sorption of some cereal grains. *Internacional J.of Food Science and Technology*. Vol.23,141-145.
- 📖 Anzaldúa-Morales A. 1999. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica.
- 📖 AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis. 12th .Ed. Washington, D.C.USA.
- 📖 Arnold, C. 1992. *Phostharvest and marketing of cuitlacoche, maize mushroom (Ustilago maydis-corn smut)*. *Acta- Horticulturae* 318:321-324.
- 📖 Arslan., N. y Togrul.,H. 2005. Modelling of wáter sorption isotherms of macaroni stored in a chamber under controlled hunidity and thermodynamic approach. *Journal of Food Engineering* 69(2005) 133-145.
- 📖 Ayrancy, E.; Ayranci, G.; y Dogantan, Z. 1990. Moisture sorption isotherms of dried apricot, figs and raisin at 20 °C y 36 °C. *Journal of Food Science*. 55, 1591-1594.

- Barbosa-Cánovas, V.G.; Vega-Mercado, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza España.
- Barcenas, P., Pérez de San Román, R., Pérez Elortondo, F.J, y Albisu, M. 2001. Consumer Preference structures for traditional Spanish cheeses and their relationship with sensory properties. Food Quality and Preference. 2, 269-279.
- Barnett, H.L. and Hunter, B.B. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. APS PRESS. Fourth edition. The American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota, USA.
- Becker, H.A and Sallans, H.R. 1956. A study of the sorption isotherms of wheat at 25 and 50 °C. Cereal Chemistry. Vol.33.No 2.
- Bell, L.N.; Labuza, T.P. 2000. Practical Aspects of Moisture Sorption Isotherm Measurement and Use, 2nd ed. AACC Egan Press, Egan, MN, pp.22-26.
- Bellagha S, Sahlí. A, Glenza. A. and Kechaou, N. 2005. Isohalic sorption of sardine (*Sardinilla arurita*): experimental determination and modeling. Journal of Food Engineering. 68(2005)105-111.
- Bolin, H.R. 1980. Relation of moisture to water activity in Prunes and Raisins. Journal of Food Scienc., 45, 1190.
- Bouquet R, Chirife J. and Iglesia A. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of Food. II.-Evaluation of various two parameter. Journal Food Technology 13, 319-327.

- 📖 Bressan, Louis. P. y Behling, Ronald.W. 1977. The selection and training of judges for discrimination testing. Food Technology.
- 📖 Brunauer, S., Emmet, P.H., y Teller, E. 1938. Adsorción of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society. 60, 309-315.
- 📖 Brunauer, S.; Deming, L.S., Deming, W.E., y Troller, E. 1940. On the theory of Vander Waals adsorption of gases. Journal of the American Chemical Society. 62, 1723-1732.
- 📖 Brun-Mérimeé, S.; Billaud, C.; Louarme, L., y Nicolas, J. 2004. Effect of glutathione and Maillard reaction products prepared from glucose or fructose whit glutathione on polyphenoloxidase from apple: Enzymatic browning and enzyme activity inhibition. Food Chemistry. 84, 223-233.
- 📖 Caballero; J.M; Gutierrez; V.L., Rubio; C. y Hardisson; A. 2003. Sensory Descriptive Análisis of Wheat, Corn, and Various Cereal "Gofios" from the Canary Islands. Sensory and Nutritive Qualities of Food. Journal of Food Science. Vol 68, Nr. 3.
- 📖 Calvo, L. 1993. Alternativas en la conservación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*). En: producción de hongos comestibles, Sánche, V.J. (Ed) Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. Tapachula Chiapas. P, 50-55.

- Cardello, A.V. 1994. Consumer expectations and their role in food acceptance. In *Measurement of Food Preferences*. (H.J.H. MacFie and D.M.H Thompson, eds). P.253-291.
- Carranza J. y Sánchez M. 2002. Cinética de secado de *Musa paradisiaca* L. "platano" y *Manihot esculenta* Grantz "yuca". *Revista Amazonica de Investigación Alimentaria*. V.2, Nº 1, p. 15-25.
- Casp, A.V., Abril, R.J. 1999. *Procesos de conservación de alimentos*. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España.
- Caspia, E.L., Coggins, P.C., Schilling, M. W., Yoon, Y., y White, C.H. 2006. The relationship between consumer acceptability and descriptive sensory attributes in cheddar cheese. *Journal of Sensory Studies*. 21, 112-127.
- Cassini, A.S., Marczak, L.D.F. y Noreña., C.P.Z. 2006. Water adsorption isotherms of texturized soy protein. *Journal of Food Engineering* 77(2006) 194-199.
- Castro E.L. y Ruiz H.I. 2003. *Huitlacoche: una delicadeza alimenticia que se puede producir en el Valle del Yaqui*. Instituto Tecnológico de Sonora. *Perspectiva Universitaria*. 2: 27-28 p.
- Chang, S.T. y Miles, P.G. 1989. *Edible mushrooms and their cultivation*. CRC Crit.Rev. in Food Sci. New York. P. 171-187.

- 📖 Chaves, M. G., Sgroppo, S. C., Avanza, J. R. 2003. Cinética de secado de berenjenas (*Solanum melongena* L.). Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Cientificas y Tecnologicas 2003. Resumen E-060.
- 📖 Chaves, Maria G. y Avanza J. R. 2006. Evaluación de pretratamientos en el secado convectivo de berenjenas. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Cientificas y Tecnologicas 2006. Resumen E-029.
- 📖 Chenlo, F.; Moreira, R.; Chaguri, L.; y Santos, F. 2005. Isotermas de desorción de chiles pimientos padrón (*Capsicum annuum* L. Var Longum). Ciencia y Tecnologia Alimentaria. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnologia de Alimentos. Vol.5, No.1, 18-24.
- 📖 Chirife, J. e Iglesias, H.A. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part I: A review. Journal of Food Technology. 13, 159.
- 📖 Christensen, J, J. 1963. *Corn smut caused by Ustilago maydis*. Monograph. 2. American. Phytopathological Society. St. Paul. MN. 41 pp.
- 📖 Civille, G.V., Lawnes, H.T. 1997. The importance of language in describing perceptions. In: Gacula, MC, editor. Descriptive sensory analysis in practice. P77-89.
- 📖 Curie M. 1981. A Research Note: A monolayer equation for use in Sorption Studies. J. of Food Science. Vol 47, 332-333.

-  Delgado, A.E y Sun D.W. 2007. Influence of surface water activity on freezing/thawing times and weight loss prediction. *Journal of Food Engineering* 83 (2007) 23-30.
-  Delgado, E. A. y Sun, D-W. 2002. Desorption isotherms for cooked and cured beef and pork. *Journal of Food Engineering*. 51,163-170.
-  Di-Monaco, R., Cavella, S., Torrieri, E. y Masi, P. 2006. Consumer acceptability of vegetable soups. *Journal of Sensory Studies*.22, 81-98.
-  Dominguez L.I., Azuara, E., Vernon-Carter.,E.J. y Beristain, I.C. 2007. Thermodynamic análisis of the effect of water activity on the stability of macadamia nut. *Journal of Food Engineering* 81(2007) 566-571.
-  Doymaz I. y Pala.M. The thin- layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*. 60(2),125-130.
-  Doymaz, I. 2004. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphite and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots, *Biosystems Engineering*, 89, 281-287.
-  Doymaz, I. 2006. Drying Kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*. 76, 212-217.
-  Espinosa Solares, T. 1993. Estudio del secado convectivo de café pergamino (*Coffea arábica L.*). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

- 📖 Fan, L.T., Chun, P.S., y Schellenber, I.A. 1962. Volume increase of kernels of corn and sorghum accompanying absorption of liquid water. *Biotechnology and Bioengineering*.4,311-322.
- 📖 Fennema R., O. 1975. *Principles of Food Sciences .Part II . Physical Principles of Food preservation*. Maecel Decker Inc. New York, USA.
- 📖 Fennema, O.E. 2000. *Química de los Alimentos*. 2da Ed. Acribia.
- 📖 Figueira., G.M.,Park., K.J.,Brod., F.P.R., y Honorio., S.L.2004. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. *Journal of Food Engineering* 63 (2004) 273-280.
- 📖 Fito, P., A. Andres, J. M. Barat y A. Albors. 2001. *"Introducción al secado por aire caliente"*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, España.
- 📖 Fortes, M. y Okos, M.R. 1980. Drying theories. En *Advances in Drying*, Vol. 1, editado por .A.S. Mujumdar.Hemisphere Publishing, New York.
- 📖 García, S.V.; Schmalko, M.E.; y Tanzariello, A. 2007. Isotermas de absorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones. *INTA.Argentina*. 36(1), 115-129.
- 📖 Geankoplis, C.J. 1983. Drying of process materials. En *Transport Processes and Unit Operations*, Segunda edición, Allyn and Bacon, Boston, M.A.

-  Gibson. A.M.; Baranyi. J.; Pitt, J.I.; Eyles, M.J.; Roberts, T.A. 1994. Predicting fungals growth: the effect of water activity on *Aspergillus flavus* and related species. International Journal of Food Microbiology. 23, 419-431.
-  Gilboreau, A; Dacremont, C; Egoroff, C; Guerrand, S; Urdapilleta, I; Candel, D. and Dubois, D. 2006. Defining sensory descriptors: Towards writing guidelines based on terminology. Food Quality and Preference. 18, 265-274.
-  Goula. M.A.; Adamopoulos, G.; Chatzitakis, C.P.; y Nikas, A.V. 2006. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. Journal of Food Engineering. 74, 37-46.
-  Gould, G.W. 1992. Ecosystem approaches to food preservation. Journal of Applied of Bacteriology, Symp. Suppl. 73, 58.
-  Guzmán, G. 1993. El cultivo de los hongos comestibles. En: Los hongos de la Península de Yucatán. Editorial Limusa. P. 134-135.
-  Hernández M.A. 2007. Evaluación Sensorial de Productos Agroalimentarios. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, UACH, Chapingo, México.
-  Hassan, B.H. 1991. Water sorption Isotherm of dried dates, Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo. 42(4), 1213.

- IFT. 1975. Minutes of Sensory evaluation Div. bussines meeting at 35th Ann.Meet.Inst.Of Food Technologist, Chicago June 10.
- Iglesias and ChirifeJ. 1978. Prediction of the efecto f temperatura on water sorption isotherm of food material. J.Food Technology. Vol.10, 289-297.
- Iguaz, A. y Vírveda, P. 2007. Moisture desorption of rough rice at high temperaturas. Journal of Food Engineering. 79, 794-802.
- Illescas M. C. 2001.Caracterización de un deshidratador tipo Gabinete. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.
- ISO 16820:2004(E).Sensory Analysis-Metodology-Secquential analysis. International Standar
- Ishii R.; O'Mahony M. 1987. Taste sorting and naming:Can taste concepts be misrepresented by tradicional psychophysical labeling systems? Chem.Senses.12, 37-51.
- Iturbide G., A del C. 1987. Determinación de las Isotermas de sorción a tres temperaturas a dos variedades de maíz y trigo su ajuste a modelos matemáticos y el estudio preliminar de las condiciones de almacenamiento. Tesis Profesional Universidad Iberoamericana.
- Izquierdo, L. 2002. Relación entre características sensoriales y aceptacion de los consumidores. Servicio de Estadística Experimental.

Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos. CSIC, Burjassot (Valencia).

📖 Jayaraman, K.S., Das Gupta, D.K., and Babu Rao, N. 1990. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *International Journal of Food Science and Technology*.25, 47-60.

📖 Jarayaman, K.S. y D.K. Das Gupta. 1995. "*Drying of fruits and vegetables*". In: *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar, A.S. (eds), Marcel Dekker Inc., New York, 643-690.

📖 Jayendra Kumar, A., Singh, R.R.B., Patil, G.R., y Patel, A.A. 2005. Effect of temperatura on moisture desorption isotherms of Kheer. *Lebensmittel-Wissenschaft und technology*.38,303-310.

📖 Jing, H. y Kitts D.D. 2002. Chemical and biochemical properties of casein-sugar Maillard reaction products. *Food and Chemical Toxicology*. 40, 1007-1015.

📖 Jovanovich, G.,Puppo, M.C., Giner, S.A., y Añon,M.C. 2003. Water uptake by dehydrated soy protein isolates Comparison of equilibrium vapour sorption and water imbibing<methods. *Journal of Food Engineering* 56(2003) 331-338.

- 📖 Kälviäinen.,N., Salovaara; H., yTuorila., H. 2002. Sensory Atibutes and Preferente Mapping of Muesli Oat Flakes. Sensory and Nutritive Qualities of Food. Journal of Food Science. Vol 67, Nr. 1.
- 📖 Kealey, S. K and V. F. Kosikowski. 1981. *Corn smut as a food source. Perspectives on biology, composition and nutrition.* Critical Reviews in Food Science and Nutrition 15:321-351.
- 📖 Kim, G.T., Koo,K.M., Paik, H.P., Lyu,E.S., y Lee, D.S. 2002. Food Service Technology . 2,131-138.
- 📖 Kotwaliwale., N.,Banake.,P. y Verma., A. 2007. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. Journal of Food Engineering 78 (2007) 1207-1211.
- 📖 Krinsky, B.F; Drake, M.A; Civille, G.V; Dean, L.L; y Hendrix, K.W. 2006. The development of a lexicon for frozen vegetable soybeans (Edamame). Journal of Sensory Studies. 21, 644-653.
- 📖 Krokida, M.K., V.T. Karathanos, Z.B. Maroulis y D. Marinos-Kouris. 2003. *"Drying kinetics of some vegetables"*. Journal of Food Engineering: 59(4), 391-403.
- 📖 Krokida, M y Maroulis B. Z. 2001. *"Structural properties of dehydrated products during rehydration"*. Internacional Journal of Food and Science and Technology: 36(5), 529-538.

- 📖 Labuza, T.P. 1968. Sorption phenomena in Foods. Food Technology, Vol.22,263-272.
- 📖 Labuza, T.P and Lee, R.Y. 1976. A research note: A rearranged BET plot for a more direct estimation of constant. Journal Food Science. Vol. 41.910-917.
- 📖 Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M. and Kechaou, N. 2002. Experimental study and modeling of adsorption and desorption isotherms of pickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). Journal of Food Engineering. 55,201-207.
- 📖 Lawless, H.T, Heyman, M.C. 1998. Sensory Evaluation of foods: Principles and practices. New York: Chapman y Hall.p. 341-372.
- 📖 Lee Jeehyun y Chambers Delores H. 2006. A lexicon for flavors Descriptive Análisis of Green Tea. Journal of Sensory Studies 22, 256-272.
- 📖 Lee, S.-Y., I; Luna-Guzman, S. Chang, D.M. Barret, J.-X. Guinard. 1999. Relating descriptive analysis and instrumental texture data of processed diced tomatoes. Food Quality and Preference 10, 447-455.
- 📖 Lilley, T.H and Sutton R.L. 1985. The prediction of water activities in multicomponent system in slade Levine. Water relationships in Foods. AIEMB (USA).

- 📖 Lizarraga G. and M. G. Lopez. 1996. *Content of free amino acids in huitlacoche (Ustilago maydis)*. (Abst). Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol.44 (9):2556-2559.
- 📖 Loncin, M.; Bimbenet, J.J. and Lenges, J. 1968. Influence of the activity of water on the spoilage of foodstuffs". Journal Food Technology. 3, 131-142.
- 📖 Lyly, M., Salmenkallio, M. M., Suortti, T., Autio, K., Poutanen, K., y Lähteenmäki, L. 2004. The sensory characteristics and rheological properties of soups containing oat and barley β -glucan before and after freezing. Food Science and Technology. 37, 749-761.
- 📖 MacLaughlin, C.P., and Magee, T.R.A. 1998. The determination of sorption isotherms and the isosteric heats of sorption for potatoes. <Journal of Food Engineering. 35, 267-280
- 📖 Mari, M.J. 2002. "*Cinética de transferencia de material durante el proceso de rehidratación de cubos de pimiento seco (Capsicum Annuum L.)*". Trabajo fin de carrera, Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- 📖 Maroulis, Z.B. Tsami, E., Marinos-Kouris, D., y Saravacos, G.D. 1988. Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms of dried fruits. Journal of Food Engineering. 7, 63.

- 📖 Martínez-Carrera, D.; Morales, P. y Sobal, M. 1988. Cultivo de diversas sepas de *Pleurotus ostreatus* sobre pulpa de café y cebada. Revista Mexicana de Micología. 4, 153-160.
- 📖 Martínez, F.A. 2006. Principales cambios postcosecha (*Ustilago maydis* (DC) Cda.) Refrigerado. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F.
- 📖 Martínez-Flores A, Corrales-García J.J, Espinosa-Solares T, García-Gatica PG, Villanueva-Verduzco C. 2008. Cambios poscosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Corda). Revista Chapingo, Serie Horticultura. 14 (3):339-346.
- 📖 Meilgaard M. 1999. Sensory Evaluation Techniques. 3ra Ed. Boca Ratón. CRC Press Inc. p 89-98.
- 📖 Mossel, D.A.A. 1983. Essentials and perspectives of the microbial ecology of foods. En Food Microbiology. Advances and Prospects. Society for Appl. Bacteriol. Symposium Series No. 11. Ed. T.A. Roberts, F.A. Skinner, p1. Academic Press, London.
- 📖 Mulet, A.; Garcia-Pascual, P.; Sanjuán, N.; y Garcia-Reverter, J. 2002. Equilibrium isotherms and isotheric heats of morel (*Morchella esculenta*). Journal of Food Engineering. 53, 75-81.
- 📖 Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

- 📖 Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994. Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
- 📖 Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.
- 📖 Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consume humano. (Proyecto de actualización de la RM N° 615-2003 SA/DM).
- 📖 O'Mahony, M. 1995. Who told you the triangle test was simple?. Food Quality and Preference. 6, 227-238.
- 📖 OMS. 2005. Base de datos para alimentos. Recomendaciones microbiológicas
- 📖 Ortega, C.M.P. 1991. Determinación de isotermas de sorción de humedad a 25 y 35 °C de café (*coffe arabica*) procedente de tres regiones productoras mexicanas. Trabajo de Tesis. Universidad de la Salle. Escuela Química Incorporada a la UNAM.
- 📖 Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. 1999. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. Journal of Food Science, 64, 42-45.

- 📖 Panagou, E.Z.; Skandamis, P.N.; Nychas, G.-J.E. 2003. Modelling the combined effect of temperature, pH and a_w on the growth rate of *Monascus ruber*, a heat-resistant fungus isolated from green table olives. *Journal of Applied Microbiology*. 94, 146-156.
- 📖 Paredes L, O. 1993. *Pasado, presente y futuro de la biotecnología azteca*. Ciencia y Desarrollo. Vol. 19 (112):34-45.
- 📖 Paredes L. O. 2001. *Tecnologías para la producción masiva de Huitlacoche*. Cuaderno de trabajo: Sistema de Investigación Miguel Hidalgo. México. 31 p.
- 📖 Parra, R.; Magan, N. 2004. Modelling the effect of temperature and activity on growth of *Aspergillus niger* strains and applications for food spoilage moulds. *Journal of Applied Microbiology*. 97, 429-438.
- 📖 Pascual A.M.R., Calderón, P.V. 2000. *Microbiología Alimentaria. Metodología Analítica para alimentos y bebidas*. Ed. Días de Santos. Madrid España.
- 📖 Peleg, M. 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*. 16.21-37.
- 📖 Piggott, J.R. 1991. Selection of terms for descriptive analysis. In *Sensory Science Theory and Application in Food* (H. Lawless and B. Klein, eds). P.339-351. Marcel Dekker. New York, NY.

- 📖 Pitt, J.I.; Miscalable, B.F. 1995. Water relations of *Aspergillus flavus* and closely related species. *Journal of Food Protection* 58, 86-90.
- 📖 Plaza, P.; Usall, J.; Teixido, N.; Viñas, I. 2003. Effect of water activity and temperature on germination and growth of *Penicillium digitatum*, *P. italicum* and *Geotrichum candidum*. *Journal of Applied Microbiology*. 94(4), 549-554.
- 📖 Pope, D. D. and S. M. McCarter. 1992. *Evaluation of inoculation methods for inducing common smut of corn ears*. *Phytopathology* 82:950-955.
- 📖 Potter, Norman N. (1978). *La ciencia de los alimentos*. Edit. Edutex, S.A.
- 📖 Presser, K.A.; Ratkowsky, D.A.; Ross, T. 1997. Modelling the growth rate of *Escherichia coli* as a function of pH and lactic acid concentration. *Applied and Environmental Microbiology*. 63, 2355-2360.
- 📖 Putranon, R.; Bowrey, R.G., y Eccleston, J. 1979. Sorption isotherms for two cultivars of paddy rice grown in Australia. *Food Technology in Australia*. 510-515.
- 📖 Raham, M. S. y Labuza, T. P. 1999. Water activity and food preservation. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of food preservation* (pp.339-382). New York: Marcel Dekker.
- 📖 Rahman, M. S. 2003. *Manual de Conservación de Alimentos*. Edit. Acribia, S. A. Zaragoza, España.

- ☞ Raouzeos, G.S; and Saravacos, G.D. 1986. Solar drying of raisins. Drying Technology, 4,633-649.
- ☞ Rattanapanone, N.;Lee,Y.; Wu,T. y Watada, A.E. 2001. Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. Hort Sci. 36 (6):1091-1095.
- ☞ Reed, Z. y Strugnell, C. 2000. Chilled fresh soup- a creative consumer product?. Nutr. Food Science. 30, 3.
- ☞ Reis, R.C.; Ramos, A.M.; Regazzi, A.J.;Minim,V.P.R. y Stringueta, P.C. 2006. Storage of Dried Mango: Physicochemical, Microbiological, Color and Sensory Analisis. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnologia de Alimentos (SOMENTA). Ciencia Y Tecnologia Agroalimentaria 5(3) 214-225.
- ☞ Riaz, R.A.;Mahmood,K y Abbas, M. 1991. Efect of blanching and storage on the quality of the dehydrated oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). Mushroom Journal for the Tropics.11, 39-49.
- ☞ Rizvi, S.S.H. 1986. Thermodynamic properties of food in dehydration. In: Rao, M.A., y Rizvi, S.S.H. (Eds). Engineering properties of foods. New York.
- ☞ Rockland, L.B. 1969. Water activity and storage stability. Food Technology.23, 1241-1248.

- 📖 Rockland, L.B. 1970. Water activity storage stability. The practical approach to low Moisture Foods.
- 📖 Rockland, L.R. y Nishi, S.K. 1980."Influence of water activity on food product quality and stability". Food Technolo.,13 (1959),715-718.
- 📖 Ruiz Herrera y Martínez Espinoza A.D. 1998. *The fungus Ustilago maydis, from the aztec cuisine to the research laboratory*. Internatl Microbiol, 1:149–158.
- 📖 Ruiz, P.C.M.P.; Gálan, S.H.; Corrales,G.J.; y Hernández, M.A. 2006. Sensory characterization of nopalitos (Opuntia spp.) Food Research International 39:285–293.
- 📖 Sablani, S.S., Kasapis, S. y Rahman, M.S. 2007. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. Journal of Food Engineering 78(2007)266-271.
- 📖 Saklar, S.,Katnas, S., y Urgan, S. 2001. Determination of optimum hazlnut roasting condtions. International Journal of Food Science and Technology. 36, 271-281.
- 📖 Saltamarch, M., and Labuza, T.P. 1980. Influence of relative humidity on the physicochemical state of lactose in spray-dried sweet whey powder. Journal of Food Science.45(5),1231-1236.
- 📖 Samaniego-Esguerra, C.M.; Boag I.F.; y Robertson, G.L. 19991. Comparison of regresión method for fitting the GAB model to the moisture

- isotherms of some dried fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*. 13, 115-133.
- ☐ SAS Institute Inc.2002.Version 9.0. Cary,NC,USA.
- ☐ Sautour, M.; Solares Mansur, C.; Divies, C.; Bensoussan, M.; Dantigny, P.A. 2002. Comparison of the effects of temperature and water activity on growth rate of food spoilage moulds. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 28,311-315.
- ☐ Schuchman, H.R.I. y Peleg, M. 1990. Empirical models for moisture sorption isotherms at very high water activities. *Journal of Food Science*.55 (3), 759-762.
- ☐ Schmalko., M.E y Alzamora., S.M. 2005. Modelling the drying of a twig of "yerba maté" considering as a composite material. Part I: shrinkage, apparent density and equilibrium moisture content. *Journal of Food Engineering* 66, 455-461.
- ☐ Sigma Plot 10.0. 2007. Exact Graphs for Exact Science.
- ☐ Simal, S.; Feena, A.; Castell-Palou, A.y Roselló,C. 2007. Water desorption thermodynamic properties of pineapple. *Journal of Food Engineering*. 80, 1293-1301.
- ☐ Sivetz, M.; y Foote, H.E. 1963. Coffee Processing Technology. AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.

- 📖 Sosa, M., Martinez, C., Marquez, F., y Hough, G. 2007. Location and scale influence on sensory acceptability measurement among low-income consumers. *Journal of Sensory Studies*. 23, 707-719.
- 📖 Secretaria de Salubridad y Asistencia (SSA). 1975. Técnicas para el muestreo y análisis microbiológicos de alimentos. Dirección General de Investigación en Salud Pública.
- 📖 Stone H. 1992 *Sensory Evaluation Practice*. New York. Academic Press. p 151-153.
- 📖 Tang, C.; Heymann, H., y Hsieh, F.H. 2000. Alternatives to data averaging of consumer preference data. *Food Quality and Preference*. 11, 99-104.
- 📖 Torres-Penaranda, A.V y Reitmeier, C.A. 2001. Sensory Descriptive Analysis of Soymilk. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*. Vol 66, No 2, 352-356.
- 📖 Troller, J.A y Christian, J.H.B. 1978. *Water activity and food*. Academic Press, New York (1978).
- 📖 Tsami, E., Marinos-Kouris, D., and Maroulis, Z.B. 1990. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes, and apricots. *Journal of Food Science*, 55, 1594.
- 📖 Vagenas, G.K.; y Marinos-Kouris, D. 1991. Drying kinetics of apricots. *Drying Technology*, 9, 735-752.

- 📖 Valik, L.; Baranyi, J.; Görner, F. 1999. Predicting gungal growth: the effect of wáter activity on *penicillium roqueforti*. International Journal of Food Microbiology. 47, 141-146.
- 📖 Van Arsdel, N.B. y Copley M.J. 1963. Food Dehydratation. VI Publishing, Westpoint, CT.
- 📖 Vazquez, G.; Chenlo, .F. Moreira, R. y Carballo, L. 1999. Desorption isotherms of *muscatel* and *aledo* grapes, and the influence of pretreatments on muscatel isotherms. Journal of Food Engineering. 39, 409-414.
- 📖 Venegas, P.E., M.E. Valverde, O. Paredes-Lopez, and J.K. Pataky. 1995. Production of the Edible Fungus Huitlacoche (*Ustilago maydis*): Effect of Maize Genotype on Chemical Composition. Journal of fermentation and bioengineering 80: 104-106.
- 📖 Vilanova, M. 2006. Sensory Descriptive Análisis and consumer acceptability of Godello wines from Valderras Apellation origen controlée (Northwest Spain). Journal Sensory Studies. 21, 362-372.
- 📖 Villanueva V, C. 1995. *Estudios de la reacción del maíz al carbón común o huitlacoche (Ustilago maydis)*. Tesis de Doctorado. Programa de Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 133 pp.
- 📖 Vullioud, M., Marquez., A.C. y Michelis, A. 2004 Desorption isotherms for sweet and sour cherry. Journal of Food Engineering 63(2004) 15-19.

- Welch R. W y Mitchell P.C. 2000. Food processing: a century of change. British medical Bulletin 56(No 1) 1-17.
- Wiley, R.C. 1994. Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Chapman and Hall, Inc. New York, NY. Capitulo 1:1-14.
- Xuguang, H., y Fu-Hung, Hsieh. 2005. Physical Properties, Sensory Attributes, and Consumer Preference of Pear Fruit Leather. Journal of Food Science. Vol.70, No. 3, 177-186.
- Yan, Z.; Sousa-Gallagher, M.J.; y Oliveira, A.R.F. 2008 Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. Journal of Food Engineering. 86, 342-348.
- Yoshida, C. M.P., and Menegalli, F.C. 2000. Drying super-sweet corn. In Proceedings of the 12th international drying symposium, Holland.
- Zuritz, C.R., Singh, P., Meini, S.M., y Henderson, S.M. 1979. Desorption isotherms of rough rice from 10 to 40 °C. Transaction of the ASAE, 22(2), 433-44

VII. ANEXOS

Anexo 1. Formato empleado en la prueba de Aceptabilidad global

PRUEBA TRIANGULAR		
Nombre: _____	Grado: _____	Grupo: _____
No telefónico: _____	Dirección de correo electrónico: _____	
Tipo de muestra: Sopa de huitlacoche. _____		
Instrucciones: Pruebe las muestras de izquierda a derecha una sola vez. Dos muestras son idénticas; determine cual es la muestra diferente. _____		

Anexo 2. Formato empleado en la prueba de Aceptabilidad global

Aceptabilidad global para sopa de huitlacoche																											
Nombre _____ Evalúe las muestras en el orden presentado, una a la vez y escriba en la escala proporcionada el grado de aceptabilidad que usted le da a cada muestra. Muestra _____																											
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 10%; text-align: center;">1</td><td style="width: 10%; text-align: center;">2</td><td style="width: 10%; text-align: center;">3</td><td style="width: 10%; text-align: center;">4</td><td style="width: 10%; text-align: center;">5</td><td style="width: 10%; text-align: center;">6</td><td style="width: 10%; text-align: center;">7</td><td style="width: 10%; text-align: center;">8</td><td style="width: 10%; text-align: center;">9</td></tr></table>										1	2	3	4	5	6	7	8	9									
1	2	3	4	5	6	7	8	9																			
<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">1</td><td>Me disgusta extremadamente</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">2</td><td>Me disgusta mucho</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">3</td><td>Me disgusta moderadamente</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">4</td><td>Me disgusta poco</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">5</td><td>Ni me disgusta ni me gusta</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">6</td><td>Me gusta poco</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">7</td><td>Me gusta moderadamente</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">8</td><td>Me gusta mucho</td></tr><tr><td style="text-align: right; padding-right: 10px;">9</td><td>Me gusta extremadamente</td></tr></table>										1	Me disgusta extremadamente	2	Me disgusta mucho	3	Me disgusta moderadamente	4	Me disgusta poco	5	Ni me disgusta ni me gusta	6	Me gusta poco	7	Me gusta moderadamente	8	Me gusta mucho	9	Me gusta extremadamente
1	Me disgusta extremadamente																										
2	Me disgusta mucho																										
3	Me disgusta moderadamente																										
4	Me disgusta poco																										
5	Ni me disgusta ni me gusta																										
6	Me gusta poco																										
7	Me gusta moderadamente																										
8	Me gusta mucho																										
9	Me gusta extremadamente																										

Anexo 3. Formato empleado en el QDA (Análisis Descriptivo Cuantitativo).

Sopa de Huitlacoche

Nombre: _____

Saturación

Brillo

Apariencia grasa

Viscosidad

Aroma a epazote guisado

Aroma a cebolla acitrona

Aroma a elote hervido

Aroma característico de huitlacoche guisado

Sabor salado

Sabor ácido

Sabor a caldo de pollo

Sabor característico del huitlacoche guisado

Textura terrosa

Sabor residual amargo

Anexo 4.- Número más probable de organismos (NMP g o mL).

Tubos inoculados: 3 con 1 ml dilución 1:10 = 0.1 g muestra

3 con 1 ml dilución 1:10 = 0.01 g muestra

3 con 1 ml dilución 1:10 = 0.1 g muestra

Tubos Positivos			NMP/ g	Tubos Positivos			NMP/ g	Tubos Positivos			NMP/ g	Tubos Positivos			NMP/ g
3	3	3		3	3	3		3	3	3		3	3	3	
(0.1)	(0.01)	(0.001)		(0.1)	(0.01)	(0.001)		(0.1)	(0.01)	(0.001)		(0.1)	(0.01)	(0.001)	
0	0	0	< 3.0	1	0	0	3.6	2	0	0	9.1	3	0	0	23
0	0	1	3	1	0	1	7.2	2	0	1	14	3	0	1	39
0	0	2	6	1	0	2	11	2	0	2	20	3	0	2	64
0	0	3	9	1	0	3	15	2	0	3	26	3	0	3	95
0	1	0	3	1	1	0	7.3	2	1	0	15	3	1	0	43
0	1	1	6.1	1	1	1	11	2	1	1	20	3	1	1	75
0	1	2	9.2	1	1	2	15	2	1	2	27	3	1	2	120
0	1	3	12	1	1	3	19	2	1	3	34	3	1	3	160
0	2	0	6.2	1	2	0	11	2	2	0	21	3	2	0	93
0	2	1	9.3	1	2	1	15	2	2	1	28	3	2	1	150
0	2	2	12	1	2	2	20	2	2	2	35	3	2	2	210
0	2	3	16	1	2	3	24	2	2	3	42	3	2	3	290
0	3	0	9.4	1	3	0	16	2	3	0	29	3	3	0	240
0	3	1	13	1	3	1	20	2	3	1	36	3	3	1	460
0	3	2	16	1	3	2	24	2	3	2	44	3	3	2	1,100.00
0	3	3	19	1	3	3	29	2	3	3	53	3	3	3	1,100.00

Fuente: Secretaria de Salubridad y Asistencia (SSA);1975.