



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO Y VARIEDAD DE PAPA SOBRE LA
FORMACIÓN DE ACRILAMIDAS Y LA CALIDAD PARA SU
USO INDUSTRIAL.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

ANDREA JIMÉNEZ LOYDA

ASESOR: DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES
 ASUNTÓ: VOTO APROBATORIO



DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Influencia de las condiciones de almacenamiento y variedad de papa sobre la formación de acrilamidas y la calidad para su uso industrial.

Que presenta la pasante: Andrea Jiménez Loyda
 Con número de cuenta: 407015348 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
 Cuautitlán Izcallí, Méx. a 25 de octubre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José Francisco Montiel Sosa	
VOCAL	Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er SUPLENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
2do SUPLENTE	M. en C. Dolores Molina Jasso	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
 HHA/pm

DEDICATORIAS

He aprendido que no es lo que cuenta lo que tienes en la vida, sino a quienes tienes en ella.

Este trabajo está dedicado a Mi Familia, quienes permanentemente me apoyaron con amor, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos.

A mi madre la Dra. Evangelina Loyda Cruz quien es poseedora de mi admiración y modelo a seguir. Mamá eres tú la razón por la cual se que no hay obstáculo que pueda impedirme lograr mis metas.

A mi hermano Alejandro quien ha mantenido siempre confianza en mí y me ha apoyado y demostrado su amor durante toda su vida.

A mi abuelita Bertha que con su humildad, ternura y cariño me ha enseñado a querer ser mejor persona cada día.

A ustedes que siempre han creído en mí y que son mi ejemplo de valor, fortaleza, perseverancia y amor, les dedico este triunfo y éxito personal. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIME: **Elaboración de materiales educativos para fortalecer la enseñanza en el Taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos - Procesos Tecnológicos de Frutas y Hortalizas de la carrera de Ingeniería en Alimentos (PE202610)**, de la Dirección General de Asuntos del personal Académico de la UNAM.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi mamá Evangelina Loyda Cruz, por brindarme su apoyo y amor incondicional durante toda mi vida y principalmente durante mi estancia en la universidad. Gracias por comprender mis angustias y tensiones. Eres una mujer maravillosa y muy fuerte. Te agradezco que seas como eres, porque gracias a eso soy lo que soy y lo que quiero ser.

Gracias Ale por siempre entenderme y apoyarme e incluso asesorarme en muchas cosas. Tú también eres parte de este logro ya que has sido partícipe de mis triunfos y fracasos en la universidad y me has mostrado que te alegran y entristecen de la misma manera que a mí. Además de que me ayudaste para la realización de este proyecto. Por todo esto y más eres mi hermano favorito.

Te agradezco abuelita por el cariño que siempre me has brindado, se que siempre has creído en mí como yo en ti. Además también fuiste parte de mis experiencias y proyectos universitarios por lo que este logro también es gracias a ti.

Agradezco a mis guapas tías, a mis guapos tíos y a mis preciosas primas y primos Loyda, por ser parte de mi vida y de mis vivencias universitarias. De todos ustedes he aprendido muchas cosas que me han ayudado a formarme como persona.

A mi prima Rosy y sobre todo a mi tío el Dr. Alejandro Loyda por su apoyo y ejemplo durante mi vida. Sé que en parte sin ti tío todo esto no hubiera sido posible.

A Liz por brindarme tu amistad sincera desde hace mucho tiempo. Durante esta etapa tan maravillosa que culmina hemos compartido muchas tensiones, frustraciones, depresiones, tristezas, pero sobretodo alegrías. Sé que siempre que te necesite estarás ahí y sabes que de igual manera puedes contar conmigo. Gracias por ser parte de esta etapa y que nuestra amistad siga por muchas más. Te quiero mucho amiguita.

A Iván, no solo por darme asesorías o haberme apoyando experimentalmente, sino también por ser parte de esta etapa y de mi vida. Por estar siempre conmigo dándome ánimos, apoyándome, comprendiéndome y enseñándome a ver lo mejor de todo y todos y a ser mejor persona.

A Atzelbi porque he encontrado a una amiga en la cual puedo confiar y de la que se que siempre recibiré los mejores consejos y apoyo. Además, gracias por haberme hecho reír durante toda la carrera.

A Taniz, Milly, Angie, Made, Eri y Flor por ser unas niñas super lindas y divertidas que hicieron más amena la estancia en la universidad. También a los chicos Marco Iván, Mijail, Chris, Marco Antonio, David Jafet, David Super, y los Pompi's porque fueron también parte de esta etapa y por todas las cosas que compartimos. También a mis amigos de la prepa Lupita y Carlos con quienes seguí compartiendo mis vivencias universitarias a pesar del poco tiempo que tuvimos para hacerlo, gracias chicos por su amistad.

Agradezco a los profesores que me han acompañado durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante y persona.

De igual manera agradezco particularmente a la Dra. María Andrea Trejo Márquez por haberme orientado en la realización de esta tesis.

A las profesoras del Laboratorio de Postcosecha, Selene Pascual Bustamante, María Guadalupe Pérez, Miriam Álvarez Velasco por haberme asesorado y apoyado experimentalmente durante la realización de este proyecto.

Finalmente agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, quien en su Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, me permitió prepararme para ser profesionista.

**ÍNDICE GENERAL**

ÍNDICE GENERAL	i
Índice de Cuadros.....	iv
Índice de Figuras	v
RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN.....	III
1. GENERALIDADES	1
1.1. La Planta.....	2
1.2. El tubérculo.....	3
1.3. Etapas del desarrollo del cultivo	4
1.3.1. Tubérculo semilla sembrado.....	4
1.3.2. Crecimiento vegetativo	5
1.3.3. Inicio de la producción de tubérculos	6
1.3.4. Crecimiento de los tubérculos o tuberización	6
1.4. Producción.....	8
1.4.1. Estados productores	8
1.4.2. Superficie sembrada a nivel nacional.....	10
1.4.3. Superficie cosechada a nivel nacional	10
1.5. Distribución y comercialización	12
1.6. Variedades.....	14
1.7. Composición química.....	16
1.8. Almacenamiento	17
1.8.1. Condiciones óptimas de almacenamiento.....	18
1.8.2. Cambios durante el almacenamiento.....	19
1.8.3. Problemas durante el almacenamiento.....	21
1.9. Desórdenes fisiológicos.....	23
1.10. Daño mecánico	26
1.11. Enfermedades.....	26
1.12. Industrialización de la papa en México	29
1.13. Papas fritas.....	30
1.13.1. Requerimientos para procesamiento.....	30
1.13.2. Proceso de elaboración de papas fritas.....	32
1.14. Contaminantes químicos en el procesamiento de alimentos	34



1.14.1.	Definición e importancia de las acrilamidas	34
1.14.2.	Exposición alimentaria.....	37
1.14.3.	Toxicinética y toxodinámica.....	44
1.14.4.	Efectos tóxicos en la salud.....	45
1.15.	Normatividad en papas.....	47
2.	OBJETIVOS	50
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1.	Material biológico.....	53
3.2.	Selección de bodegas de la Central de Abastos.....	54
3.3.	Determinación del tamaño de la muestra	55
3.4.	Efecto de la variedad y bodega de procedencia	56
3.4.1.	Condiciones de muestreo.....	56
3.4.2.	Condiciones de almacenamiento.....	56
3.5.	Efecto de las temperaturas de almacenamiento	56
3.5.1.	Condiciones de muestreo.....	56
3.5.2.	Condiciones de almacenamiento.....	56
3.6.	Efecto de las condiciones de almacenamiento en papas fritas.	57
3.6.1.	Elaboración de papas fritas	57
3.6.2.	Descripción del proceso	58
3.7.	Técnicas analíticas.....	60
3.7.1.	Análisis químico proximal.....	60
3.7.2.	Parámetros de calidad de papas en fresco.....	62
3.7.3.	Parámetros calidad de papas fritas	66
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1.	Composición química de papas	72
4.2.	Efecto de la variedad y de la bodega de la Central de Abastos sobre los cambios en la calidad de la papa durante su almacenamiento.	73
4.2.1.	Pérdida de peso.....	73
4.2.2.	Incidencia de brotes	77
4.2.3.	Azúcares reductores y contenido de almidón	80
4.2.4.	Gravedad específica	85
4.3.	Efecto de las temperaturas de almacenamiento	87
4.3.1.	Pérdida de peso.....	88
4.3.2.	Incidencia de brotes	91



4.3.3. Azúcares reductores y contenido de almidón	93
4.3.4. Sólidos totales.....	96
4.3.5. Gravedad específica	98
4.4. Influencia de las condiciones de almacenamiento y bodega de procedencia en la calidad de las papas fritas.....	100
4.4.1. Color	100
4.4.2. Contenido de grasa	104
4.4.3. Análisis sensorial	106
4.4.4. Contenido de acrilamidas.....	108
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	116
REFERENCIAS	118

**Índice de Cuadros**

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica de la papa.	1
Cuadro 2. Principales estados productores de papa y sus variedades.....	8
Cuadro 3. Variedades de papa más utilizadas a nivel nacional.	14
Cuadro 4. Composición química de papa blanca.....	16
Cuadro 5. Condiciones óptimas de almacenamiento de la papa a diferentes estadíos.	18
Cuadro 6. Condiciones óptimas de almacenamiento.	19
Cuadro 7. Tasa de respiración de la papa.	20
Cuadro 8. Patógenos bacterianos y hongos en papa.	27
Cuadro 9. Niveles de acrilamida en papas.....	38
Cuadro 10. Niveles de acrilamida en cafés y otras bebidas.....	39
Cuadro 11. Niveles de acrilamidas en pescados, carnes, verduras y otros.	40
Cuadro 12. Niveles de acrilamida en panes y pastelería, cereales y frutos secos.....	41
Cuadro 13. Bodegas de la Central de Abastos del Distrito Federal.....	54
Cuadro 14. Escala de brotes.	63
Cuadro 15. Número de respuestas correctas por cada juez.....	68
Cuadro 16. Composición química de papa variedad „Atlantic“ y „Fianna“.....	72
Cuadro 17. Papas fritas “chips” de variedad „Fianna“ de la bodega R-126 y R-136 almacenadas a dos temperaturas.	101
Cuadro 18. Porcentaje de probabilidad de escoger la respuesta.....	107

**Índice de Figuras**

Figura 1. La planta de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	3
Figura 2. Fases del crecimiento de la planta.	7
Figura 3. Producción nacional del período 1997-2007.....	11
Figura 4. Circuito de comercialización de la papa en México.	13
Figura 5. Tasa de respiración de la papa.	20
Figura 6. Brotamiento en papas.....	22
Figura 7. Corazón negro.	24
Figura 8. Pardeamiento interno a causa de daños por frío.	25
Figura 9. Daños mecánicos.	26
Figura 10. Etapas sucesivas de la transformación de papas fritas tipo “chips”.	32
Figura 11. Estructura química de la acrilamida.	35
Figura 12. Mecanismo propuesto para la formación de acrilamida como una reacción secundaria de la reacción de Maillard.....	37
Figura 13. Metabolismo de acrilamida	44
Figura 14. Papas variedad „Fianna“ procedentes de la Bodega R-126 (a) y R-136 (b) de la Central de Abastos de la Ciudad de México.	53
Figura 15. Papas variedad „Atlantic“ procedentes de la Bodega R-126 (a) y R-140 (b) de la Central de Abastos de la Ciudad de México.	53
Figura 16. Proceso de elaboración de papas fritas.	57
Figura 17. Pelado de papas.....	58
Figura 18. Rebanado de papas.....	58
Figura 19. Freidora marca Moulinex modelo UNO.	59
Figura 20. Espectrofotómetro.	60
Figura 21. Registro de pérdida de peso.	62
Figura 22. Horno convectivo con aire forzado.	64
Figura 23. Titulación de soluciones Fehling.....	65
Figura 24. Principio de Arquímedes.	66
Figura 25. Colorímetro marca MINOLTA.....	66
Figura 26. Extracción de grasa por Soxhlet.	67
Figura 27. Cromatógrafo de líquidos de alta resolución.	69



Figura 28. Porcentaje de pérdida de eso en variedad „Atlantic” procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.....	74
Figura 29. Porcentaje de Pérdida de Peso en variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres dferentes temperaturas.....	75
Figura 30. Daños mecánicos a la recepción de papas variedad „Atlantic” procedentes de la bodega R-126 (a) y R-140 (b).	76
Figura 31. Daños mecánicos a la recepción de papas variedad „Fianna” procedentes de la bodega R-126 (a) y R-136 (b).	77
Figura 32. Incidencia de brotes en variedad „Atlantic” procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.....	77
Figura 33. Incidencia de brotes en variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.....	78
Figura 34. Incidencia de brotes al final del almacenamiento para papas variedad „Atlantic” (a) y „Fianna” (b) procedentes de la Bodega R-126 almacenados a temperatura ambiente.	79
Figura 35. Azúcares reductores en papa variedad „Atlantic” procedente de la bodega	80
Figura 36. Azúcares reductores en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega	81
Figura 37. Contenido de almidón en papa variedad „Atlantic” procedente de la bodega....	83
Figura 38. Contenido de almidón en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega.....	84
Figura 39. Gravedad específica en papa variedad „Atlantic” procedente de la bodega	85
Figura 40. Gravedad específica en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres temperaturas de almacenamiento	86
Figura 41. Porcentaje de pérdida de eso en papa variedad „Fianna” procedentes de las bodegas R-126 y R-136, almacenada a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).....	89
Figura 42. Daños mecánicos a la recepción de papas variedad „Fianna” procedentes de la bodega R-126 (a) y R-136 (b).	90
Figura 43. Incidencia de brotes en papa variedad „Fianna” procedentes de las bodegas R-126 y R-136, almacenada a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).	91
Figura 44. Brotes al final del almacenamiento de papas variedad „Fianna” procedentes de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) y almacenadas a temperatura ambiente.....	92
Figura 45. Contenido de azúcares reductores en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).....	93
Figura 46. Contenido de almidón en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega.....	95



Figura 47. Sólidos totales en papa variedad „Fianna“ procedente de la bodega R-126 y ..	96
Figura 48. Gravedad Especifica en papa variedad „Fianna“ procedente de la bodega	98
Figura 49. Parámetro de Tonalidad de papas fritas “Chips” procedentes de la bodega ..	102
Figura 50. Parámetro de Luminosidad de papas fritas “Chips” procedentes de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y 4°C (b).....	103
Figura 51. Contenido de grasa en papas fritas “Chips” procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).	105
Figura 52. Niveles de acrilamida en papas fritas.	109

RESUMEN



**RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo fue el evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento en papa (*Solanum tuberosum*) comercializada en bodegas de la Central de Abastos de la Ciudad de México, sobre los parámetros de calidad así como su relación con la inocuidad del producto procesado.

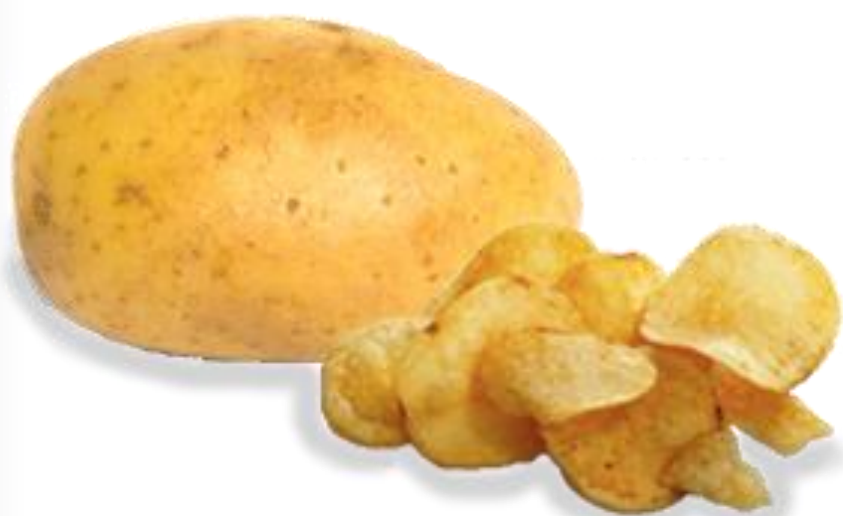
Tubérculos de papa de variedad „Fianna” y „Atlantic” se adquirieron de tres bodegas distintas de la Central de Abastos del Distrito Federal (Bodega R-126, R-136 y R-140). Las papas se almacenaron a temperatura ambiente, 12 y 4°C. El porcentaje de pérdida de peso, incidencia a la formación de brotes, contenido de almidón, azúcares reductores, gravedad específica y sólidos totales se determinaron en papas en fresco. Los tubérculos se procesaron como papas fritas tipo “chips” y se evaluaron el color y el contenido de grasa, así como un análisis sensorial y determinación de contenido de acrilamidas.

El contenido de azúcares reductores se determinó para dos variedades de papa („Fianna” y „Atlantic”), observando que para la variedad „Atlantic” no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la bodega de procedencia, no así para la variedad Fianna la cual presentó diferencia entre bodegas.

Para la variedad „Fianna”, a temperaturas por debajo de los 4°C se propició la degradación del almidón, incidiendo en un incremento en los azúcares reductores de hasta 1.9%. Además la luminosidad y tonalidad de las papas fritas también decrecieron a valores de $L=29.6$ y 48°Hue , respectivamente. Se presentaron correlaciones entre los sólidos totales con relación a la gravedad específica y al contenido de grasa, así como para el contenido de almidón en relación con azúcares reductores y gravedad específica de las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C.

Los mayores niveles de acrilamida se encontraron en las papas con mayor contenido de azúcares reductores que fueron almacenadas a 4°C, siendo de 265 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Sin embargo las papas en fresco que fueron almacenadas a temperatura ambiente también presentaron niveles considerables de acrilamidas después del freído, a pesar de contener niveles bajos de azúcares reductores.

INTRODUCCIÓN



**INTRODUCCIÓN**

La papa es originaria de América, específicamente de los países de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, por lo que se desarrolla en condiciones óptimas en climas templados; sin embargo, en nuestro país se cultiva en climas semicálidos (Barreiro, 1998). Es común que durante la cosecha y el transporte al almacén, la mayoría de los tubérculos de papa sufran heridas moderadas y ligeras cortaduras (Ryall y Lypton, 1979), por lo que es necesario que durante el almacenamiento se reduzcan los factores (temperaturas y humedades relativas) que resten mayor calidad a la papa en estos ambientes, como son la disminución de almidón y su materia seca y el endulzamiento del tubérculo por presencia de azúcares reductores, ya que el propósito del almacenamiento es el de mantener los tubérculos en condiciones que sean aptas para el consumo y la comercialización (Talburt y Smith, 1987). El consumo mundial de papa está cambiando de papa fresca a productos procesados, como papas fritas, prefritas, congeladas y deshidratadas. Debido a la necesidad de estandarizar los productos industriales y así obtener productos finales de calidad, se han establecido especificaciones para la materia prima a utilizar (Moreno, 2000). Los componentes más significativos para la industria de procesamiento son los altos contenidos de almidón y la materia seca que constituye alrededor del 65-80% (Hasbún *et al.*, 2009; Talburt y Smith, 1987). El almacenamiento de papas a bajas temperaturas, induce a aumentar los azúcares por degradación del almidón (Moreno, 2000). Las temperaturas adecuadas para un almacenamiento del tubérculo destinado a procesamiento como papas fritas son de 7 a 10°C (Martínez y Alemán, 2006). A principios de 2002, la Administración Nacional de Alimentos de Suecia (SNFA) junto con la Universidad de Estocolmo, anunciaron que ciertos alimentos que son procesados o cocinados a altas temperaturas, como son los basados en productos de papa, contienen niveles relativamente altos de acrilamida, considerado un posible carcinógeno (Claus *et al.*, 2008) y de precursores (azúcares reductores). Almacenar las papas a bajas temperaturas (<4°C) conduce a una acumulación de azúcares reductores (Akiko *et al.*, 2005). Durante el procesamiento de papas fritas, los azúcares reductores ocasionan una inaceptable coloración oscura y sabor amargo por la reacción de Maillard (Hasbún *et al.*, 2009). Además la acrilamida se forma en el proceso de Maillard por reacciones del aminoácido L-asparagina en presencia de compuestos carbonilos como azúcares reductores. Numerosos métodos han sido validados por diversos laboratorios para la determinación de acrilamida (Moreno *et al.*, 2007). La cromatografía de



gases/espectrofotometría de masas (GC-MS) y la cromatografía líquida acoplada a espectrómetro de masas (LC-MS/MS) son los principales métodos útiles y con autoridad para la determinación de la acrilamida; sin embargo, la cromatografía de líquidos de alta eficiencia o alta resolución (HPLC), también es ampliamente utilizada para la determinación y detección de la acrilamida (Zhang *et al.*, 2005). Debido a que es de suma importancia saber las condiciones de almacenamiento de las papas destinadas a producción, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento en papas comercializadas en la Central de Abastos de la Ciudad de México, con la finalidad de conocer sus parámetros de calidad, determinar si hay presencia de acrilamidas o de compuestos precursores y conocer así la calidad e inocuidad de estos productos.

GENERALIDADES





1. GENERALIDADES

La papa es originaria de América, específicamente de la región del sur, en donde se ubica la zona andina, que comprende los países de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, aunque también se ha podido demostrar que algunas variedades silvestres son originarias de México (Barreiro, 1998).

La papa es un tubérculo comestible que crece bajo el nivel de la tierra con raíces muy ramificadas, finas y largas; el tallo, grueso, fuerte, anguloso, con una altura que varía entre 0.5 y 1 m, se origina en las yemas del tubérculo. Es una planta herbácea que se multiplica vegetativamente por sus tubérculos (Tirilly y Bourgeois, 2002). En base a la norma mexicana (NMX-FF-022-SCFI-2002), se entiende por papa al tubérculo de la planta correspondiente a la familia de las Solanáceas, al género *Solanum* como la berenjena, el pimiento, el tomate y el tabaco y a la especie *Tuberosum*. En el Cuadro 1 se muestra la clasificación taxonómica de la papa.

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica de la papa.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Subgénero	<i>Potatoe</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i>

Fuente: Egúsquiza (2000); Montaldo (1984).



1.1. La Planta

La planta es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz (FAO, 2008).

La planta de la papa posee tallos principales más o menos numerosos cuyo porte puede ser más o menos erguido o extendido según las variedades (Figura 1). Pueden existir tallos secundarios que se diferencian de los principales por tener un diámetro menor y una sección más redondeada. Los tallos son verdes con una pigmentación antociánica más o menos abundante (Tirilly y Bourgeois, 2002). Las hojas son imparipinnadas con folíolos simples y pueden tener folíolos secundarios, folíolos intercalares y folíolillos. Su color es verde natural, brillante o mate (FAO, 2008).

La floración es de frecuencia y abundancia variables; las inflorescencias son cimbras; las flores son completamente blancas o coloreadas de rojo violáceo o violeta con puntos blancos más o menos marcados o bien blancas en la cara superior y coloreadas en la inferior (Tirilly y Bourgeois, 2002).

La fructificación es bastante rara en la naturaleza. Su fruto es una baya redondeada de color verde, que se vuelve amarilla al madurar. Puede contener desde algunas unidades hasta cientos de semillas (FAO, 2008).

En cuanto al aparato subterráneo, el sistema de las raíces es fasciculado. Se forma a nivel de la base de los brotes y de forma menos importante a nivel de los entrenudos de los estolones. Las yemas subterráneas de los tallos emiten estolones de crecimiento plagiotropo. Los estolones presentan largos entrenudos y llevan hojas reducidas a escamas; pueden ramificarse y su longitud depende sobre todo de la precocidad de las variedades (Tirilly y Bourgeois, 2002). Los primeros estolones son de color verde, se convierten en su extremidad en tubérculos (FAO, 2008).

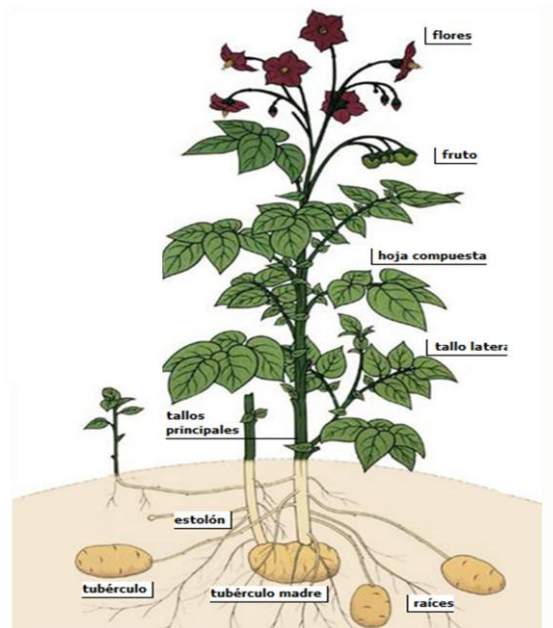


Figura 1. La planta de la papa (*Solanum tuberosum*).

Fuente: FAO (2008).

1.2. El tubérculo

El tubérculo en sí, es esencialmente un abrupto engrosamiento del tallo subterráneo de la planta (Talbert y Smith, 1987). Son tallos modificados por acumulación de reservas y engrosamiento de los estolones (Tirilly y Bourgeois, 2002). Al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos. Estos tallos sufren a consecuencia un engrosamiento y así se producen unos cuantos o hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. El número de tubérculos que llegan a madurar depende de la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo. El tubérculo puede tener formas y tamaños distintos, y por lo general pesa hasta 300g (FAO, 2008). Los tubérculos poseen yemas, también denominados ojos, que son las zonas de germinación del tubérculo.

La piel exterior, es decir, la peridermis tiene el propósito de retardar la pérdida de humedad del tubérculo y hacerlo resistente al ataque de hongos (Talbert y Smith, 1987). Además posee lenticelas que desempeñan un importante papel en la respiración. Debajo de la peridermis se encuentra la piel que comprende la corteza o parénquima cortical, el anillo vascular, la zona perimedular y la médula. Las parénquimas se diferencian por el tamaño de sus células y el tamaño de los gránulos de almidón que poseen. Los gránulos



de almidón más gruesos están en la zona perimedular y las células mayores en la médula (Tirilly y Bourgeois, 2002).

Los tubérculos se pueden caracterizar por el color de su piel y de su carne, por su forma y por el grado de hundimiento de sus ojos. Los brotes emitidos por los tubérculos se pueden describir por su forma (esférica, cónica, cilíndrica), por la abundancia de su pilosidad y por la coloración (rojo violáceo o violeta más o menos pigmentado) (Tirilly y Bourgeois, 2002). Al terminar el período de crecimiento de los tubérculos, las hojas y tallos de la planta se marchitan y los tubérculos se desprenden de los estolones. A partir de este momento, los tubérculos funcionan como depósito de nutrientes que permite a la planta subsistir en el frío y posteriormente reverdecer y reproducirse. Cada tubérculo tiene de 2 hasta 10 brotes laterales (ojos) distribuidos en espiral en toda la superficie. De estos ojos brotan las nuevas plantas, cuando las condiciones vuelven a ser favorables (FAO, 2008).

1.3. Etapas del desarrollo del cultivo

1.3.1. Tubérculo semilla sembrado

La siembra es la fase de instalación del cultivo de la papa (Egúsqüiza, 2000). Aunque la papa puede multiplicarse por semillas y por esquejes, en la práctica, la multiplicación es siempre vegetativa, haciéndose por medio de los tubérculos que producen brotes en las yemas. Para sembrar se puede elegir entre hacerlo con las papas más pequeñas de una campaña anterior, o adquirirlas de siembra (SAGARPA, 2011).

Para la siembra se deben de tomar en cuenta las condiciones del clima, las condiciones del suelo, la disponibilidad de agua y el estado de la semilla (Egúsqüiza, 2000). Las características del clima son importantes para decidir la oportunidad de siembra la que depende, a su vez, de los siguientes factores:

1) Temperatura. La papa responde bien ante climas templados (SAGARPA, 2011), aunque algunos autores citan que para una adecuada producción de papa el clima debe de ser frío (Egúsqüiza, 2000). En la zona en la que se desea sembrar papa debe existir por lo menos dos meses con temperaturas promedio diarias menores de 25°C. Los tubérculos se hielan a -2°C. La temperatura óptima de tuberización se sitúa entre 15-20°C



(Tirilly y Bourgeois, 2002). Un exceso de temperatura produce disminución de su riqueza en fécula y favorece el desarrollo de enfermedades (SAGARPA, 2011).

2) Sanidad. Las condiciones climáticas favorecen la presencia de determinadas plagas y enfermedades, la siembra debe realizarse en la época de ausencia de lluvias (Egúsqiza, 2000).

3) Agua. La papa es una planta que requiere humedad abundante y regular. La falta de humedad reduce el rendimiento de la planta a la cuarta parte; mientras que el exceso de humedad detiene el desarrollo de los tubérculos y favorece enfermedades (SAGARPA, 2011). Las necesidades de agua varían a lo largo del ciclo vegetativo: son máximas en el momento de la iniciación de los tubérculos; en el estadio un déficit hídrico tiene como consecuencia una disminución del número de papas (Tirilly y Bourgeois, 2002). Por lo tanto no se debe sembrar en zonas donde exista escasez de agua (Egúsqiza, 2000).

En cuanto a las características del suelo, éste debe estar adecuadamente preparado. Para esto se debe considerar asegurar que el suelo sea capaz de reducir las deficiencias de agua y evitar los excesos; se debe eliminar cualquier tipo de barrera física (terrones, piedras) y asegurar buena aireación para el buen crecimiento y desarrollo de las raíces; además de reducir la presencia de maleza (Egúsqiza, 2000). La papa prefiere tierras mullidas y aireadas, son mejores los suelos arenosos que los arcillosos, vegeta mejor entre valores de pH comprendidos entre 5.5 y 7, condiciones que suelen darse más en los terrenos arenosos, puede vegetar también en terrenos arcillo-calizos, llegando a tolerar un pH igual e incluso superior a 8 (SAGARPA, 2011).

1.3.2. Crecimiento vegetativo

Inicialmente la planta de la papa distribuye los glúcidos hacia el crecimiento y desarrollo de sus tallos, hojas, raíces, estolones, flores y frutos.

El pedúnculo floral y la inflorescencia crecen cuando el tallo principal ha finalizado su crecimiento y se inicia la primera floración, al mismo tiempo, se inicia el crecimiento de una rama o se acelera el crecimiento de un tallo secundario en cuyo extremo crecerá otra inflorescencia que da la apariencia de una segunda floración. De esta manera, la cantidad y duración de la floración depende de la cantidad de crecimiento de los tallos y ramas.



Todos los factores que favorecen el crecimiento vegetativo-reproductivo, desfavorecen la tuberización (Egúsquiza, 2000).

1.3.3. Inicio de la producción de tubérculos

Esto se dará inicialmente por el crecimiento de los estolones. Los estolones crecen a través de una continua división celular y elongación. El número y longitud de los estolones depende de la variedad, de las condiciones ambientales y del número total de tallos por semilla (Egúsquiza, 2000). Un tubérculo colocado en condiciones no limitantes de temperatura comienza a germinar desde el final de su reposo vegetativo. Generalmente es la yema principal del ojo situado en la punta de la corona la primera que entra en crecimiento activo, dando lugar a un brote: este ejerce una dominancia apical impidiendo durante un cierto tiempo la germinación de las demás yemas. El brote encierra en estado potencial todos los órganos de la planta (Tirilly y Bourgeois, 2002).

Los azúcares producidos en la hoja son transportados hacia el estolón donde son utilizados como fuente de energía para el crecimiento del estolón. Los azúcares producidos en las hojas se trasladan al extremo del estolón y se depositan en forma de almidón. Éste es el inicio de la tuberización.

El crecimiento del brote está influenciado por la higrometría, la luz y la temperatura. Por lo general y manteniendo todas las condiciones iguales un tubérculo dará más brotes cuanto más grueso sea su calibre (Tirilly y Bourgeois, 2002).

1.3.4. Crecimiento de los tubérculos o tuberización

La tuberización de la papa está influida por los factores del medio, principalmente por el fotoperiodo y por la temperatura y por el tubérculo madre. La planta es capaz de tuberizar cuando alcanza el estadio de incubación, esta inducción se origina por síntesis hormonal de la planta (Egúsquiza, 2000).

Después de la siembra, los brotes de un tubérculo se alargan hasta alcanzar el nivel del suelo. Los brotes continúan entonces su crecimiento por encima del suelo formando tallos con hojas. Al cabo de cierto tiempo variable dependiendo de las variedades y de las



condiciones del medio, los estolones surgidos de las yemas subterráneas de los tallos detienen su alargamiento engrosándose sus extremidades para formar los esbozos de los tubérculos: éste es el estadio de tuberización.

Las diferencias de velocidad de engrosamiento y de tamaño final que se observa entre los tubérculos de una misma planta se deben a la competencia entre plantas y dentro de la misma planta. El engrosamiento de los tubérculos se efectúa en primer lugar por multiplicación celular, aumentando posteriormente el volumen de las células por acumulación de agua y de gránulos de almidón (Tirilly y Bourgeois, 2002). Para el conjunto de tubérculos de una planta este engrosamiento sigue una curva de forma sigmoideal (Figura 2) con cinco fases del crecimiento de la planta:

1. Fase de preemergencia. En esta etapa el crecimiento es subterráneo.
2. Fase de crecimiento inicial. El crecimiento de la planta es lento.
3. Fase de crecimiento lineal. Hay mayor velocidad de crecimiento en la planta.
4. Fase de pleno crecimiento. La planta ha alcanzado su máximo crecimiento.
5. Fase de madurez. Las hojas inferiores se amarillan y el follaje se tumba.

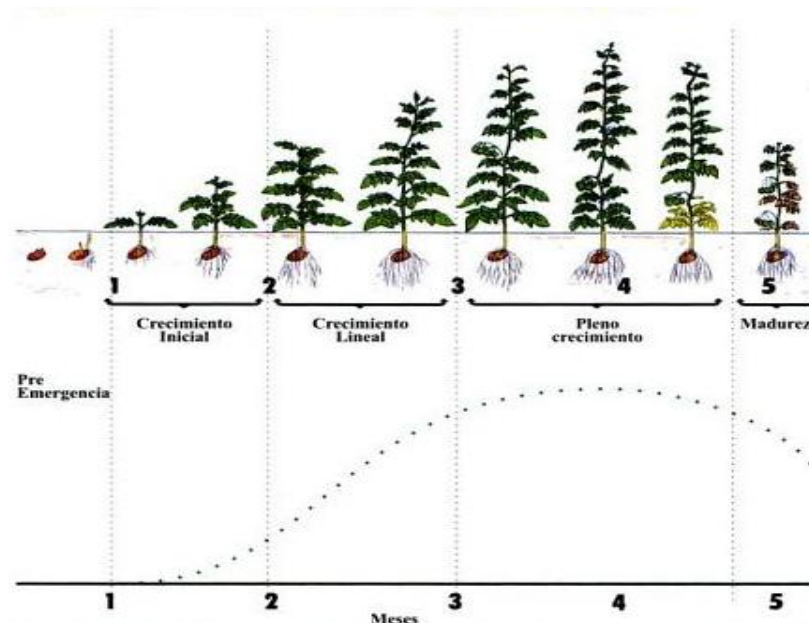


Figura 2. Fases del crecimiento de la planta.

Fuente: Egúsquiza (2000).



1.4. Producción

La importancia de la papa en nuestro país, radica básicamente en dos hechos:

a) Por un lado, su alto valor nutritivo, ya que los especialistas consideran que la papa contiene carbohidratos, proteínas, celulosa, minerales, así como vitaminas A, C, G y del complejo B. De igual forma se considera que bajo las condiciones apropiadas, la papa tiene un contenido mayor de nutrientes que los cereales, de tal forma que le sigue en importancia a la soya. b) Por otro lado, la importancia económica que tiene dicha hortaliza, se debe al ingreso que proporciona a sus productores, así como a la cantidad de jornales que genera en las diferentes regiones productoras, sobre todo durante el periodo de cosecha (Barreiro, 1998).

El cultivo de papa tiene en México una gran importancia económica, ya que es de los pocos cultivos que se desarrolla en casi todo el territorio nacional. Actualmente se cultiva en veintitrés estados de la República, pero sólo seis aportan el 66% de la producción total, aproximadamente. Se cultiva en los ciclos Otoño-Invierno y Primavera-Verano; tanto en la modalidad de riego como en la de temporal (SAGARPA, 2011).

1.4.1. Estados productores

Los principales estados productores por orden de importancia son: Sinaloa (principalmente los municipios de Guasave y los Mochis), Sonora, Chihuahua, Estado de México, Guanajuato y Nuevo León (Barreiro, 1998). En la Cuadro 2 se muestran los principales estados productores de papas en el país por variedades que producen.

Cuadro 2. Principales estados productores de papa y sus variedades.

Estado	Variedad
Sonora	Alpha, Atlantic, Herta, Mondial
Sinaloa	Alpha, Atlantic, Herta, Mondial
Baja California Norte	Alpha
Coahuila	Alpha, Atlantic, Gigant, Norteña, Mondial



Cuadro 2. Principales estados productores de papa y sus variedades (*Continuación*).

Estado	Variedad
Nuevo León	Alpha, Atlantic, Herta, Norteña, Mondial
Zacatecas y Aguascalientes	Alpha, Atlantic, Herta, Mondial
Chihuahua	Alpha, Atlantic, Granola, Norteña, Mondial
México	Alpha, Norteña, Rosita, San José, Marciana y Tollocan
Guanajuato	Alpha, Gigant, Herta, Mondial
Tlaxcala	Alpha, Rosita, Marciana, San José, Tollocan
Hidalgo	Alpha, Rosita, San José, Marciana, Norteña, Tollocan
Puebla	Alpha, Norteña, San José, Puebla, Tollocan, Gigant
Jalisco	Alpha, Gigant, Herta
Michoacán	Alpha, Ileri, Michoacán, Gigant
Veracruz	Rosita, Marciana, Alpha, San José

Fuente: Hernández (2000).

La producción de papa en México tiene características diferentes, según se trate de papa blanca (Alpha) o papa rosa (Rosita), respecto a rendimientos por hectárea, sistemas de producción y características del producto, como contenido de harina, textura, sabor y adecuación para el procesamiento industrial. Igualmente, la producción de una u otra variedad, pero principalmente de la papa blanca y la papa rosa, se lleva a cabo por diversos tipos de productores.

La papa en sus variedades "rosita" se consume principalmente en fresco, en el mercado interno; parte de ella se usa para semilla, para los ciclos posteriores. La papa blanca en sus diferentes variedades, se consume en fresco, últimamente también se exporta, aunque en cantidades mínimas, parte de ella se usa para semilla y otra parte se procesa industrialmente (Santiago, 2001).

En Sinaloa, casi la totalidad de la superficie destinada al cultivo de papa se siembra con la variedad Alpha, con la que se obtiene un rendimiento medio de 25 toneladas por hectárea. Esta variedad es susceptible a las principales enfermedades que atacan a este cultivo. El uso de esta variedad ocasiona que se abuse de la aplicación de fungicidas.



Además en cultivos con esta variedad, el 16% del costo de la producción se destina a la prevención y control de enfermedades.

Las nuevas variedades de papa ofrecen, respecto a la tradicional, un potencial de rendimiento superior en 20%; además de ser menos susceptibles a enfermedades, lo que promete mayores ingresos al productor, al disminuir el número de aplicaciones de agroquímicos, que son muy frecuentes en este cultivo (Meza, 2009).

1.4.2. Superficie sembrada a nivel nacional

En el periodo 1997-2007, la superficie sembrada de papa a nivel nacional prácticamente se ha mantenido en el mismo nivel. Sinaloa ocupó el primer lugar, con un promedio anual de 12 mil hectáreas en todo el lapso de análisis. Sin embargo si ha variado la participación de otros estados; hasta el año de 2002, Chihuahua ocupó el segundo lugar, pero a partir del siguiente año fue desplazado por Sonora, el cual en 2007 ocupa el segundo lugar con 11.9 mil hectáreas. Lo mismo ocurrió con el Estado de México, entidad que ocupó el segundo lugar en 1997, 1998 y 2000, pero en 2005 pasó al cuarto lugar (SAGARPA, 2011). Para el año 2010 la superficie sembrada a nivel nacional ascendió hasta 55,645.63 hectáreas.

1.4.3. Superficie cosechada a nivel nacional

La superficie cosechada ha seguido el mismo comportamiento que la superficie sembrada. Sinaloa es el estado que mayor superficie cosechada aporta, en promedio 12 mil hectáreas. En 2007, Chihuahua ocupa el tercer lugar y el Estado de México el cuarto. El año en que menor superficie se cosechó fue 2006, siendo ésta de 61.2 mil hectáreas, lo que representa, 1.7 miles de hectáreas menos que en 2005, aproximadamente. Los estados en los que se observó de manera importante esta disminución fueron: Sinaloa y Sonora, principalmente (SAGARPA, 2011).

A lo largo del periodo 1997-2007, el estado de Sinaloa ha aumentando la superficie cosechada considerablemente. Sonora es otro estado que ha registrado un importante crecimiento en su participación en el total, ya que en 2005 creció 90% con respecto al año previo. Por el contrario, el Estado de México es en el que no se observó crecimiento



significativo. Para el año 2010 la superficie cosechada a nivel nacional aumento a 55,358.63 hectáreas (SIAP, 2010).

La producción nacional tuvo una Tasa Media Anual de Crecimiento positiva de 2.9%. La tasa de crecimiento obtenida en Sonora, Chihuahua, Sinaloa y Guanajuato estuvo por encima de ésta, con 13.2, 4.4, 3.8 y 3.7%, en ese orden; la del Estado de México y Nuevo León fue inferior, pero positiva; mientras que la tasa de crecimiento para el resto de los estados fue negativa.

El incremento de la producción, particularmente en los estados del norte del país, se debe a la incorporación de innovaciones tecnológicas, así como al mejoramiento en las técnicas de manejo de cultivo.

El 2007 fue el año con más producción durante el periodo estudiado (Figura 3). Siendo ésta de 1.75 millones de toneladas, de las cuales Sinaloa contribuyó con el 20.5%; Nuevo León con 13.3%; Sonora, 19.4%; Chihuahua, 10.3%; Estado de México, 9.1%; Nuevo León con 7.6%; Guanajuato 6.2%, y el resto con 26.8%. Cabe mencionar que en el año de referencia, el estado de Nuevo León ocupó el segundo lugar de producción a nivel nacional; en 2004 pasó al cuarto lugar y durante 2005 ocupó el quinto lugar (SIAP, 2007).

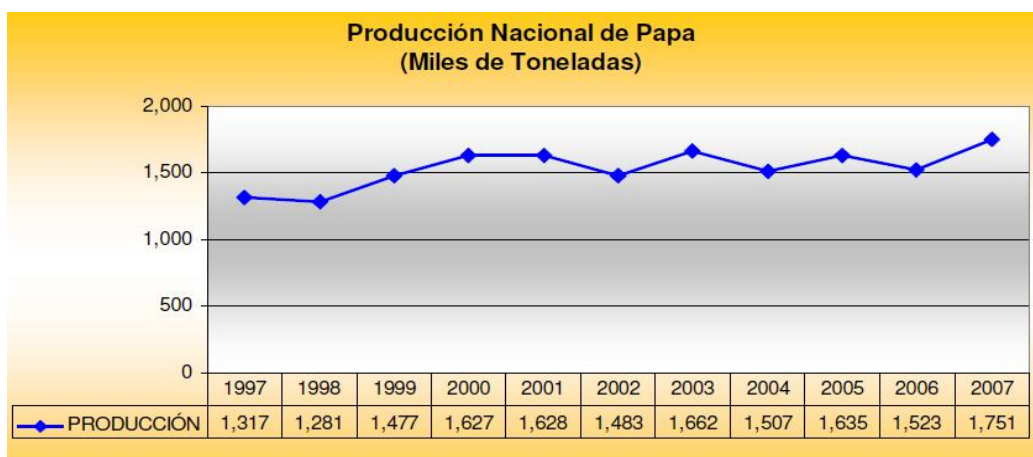


Figura 3. Producción nacional del período 1997-2007.

Fuente: SIAP (2007).

De 1995 a 2004, Sinaloa fue el principal estado productor de esta hortaliza. En 2005 el principal estado productor es Sonora, lo cual se explica porque aumentó la superficie



dedicada a este cultivo. Además, no hubo siniestralidad (en 2004 fue de 4,087 hectáreas) y por el contrario, aumentó considerablemente sus rendimientos, lo que llevó a que la producción aumentara en 126% en comparación con el año previo, es decir, de 172 mil toneladas que produjo en 2004 pasó a 392 mil toneladas en 2005. En 2007 Sinaloa vuelve a ocupar el primer lugar (SAGARPA, 2011). Para el año 2010 la producción nacional total descendió a 1, 536,617.37 toneladas (SIAP, 2010).

1.5. Distribución y comercialización

Los mecanismos de comercialización de la papa en el país, toman marcadas diferencias, las cuales están en función de: las diversas regiones productoras, el grado de organización de los productores, tamaño de las unidades productivas, así como por la infraestructura de almacenaje y refrigeración con que se cuenta (Barrerio, 1998).

Por ejemplo, en Sinaloa casi no hay intermediarios, una gran parte de los productores cuentan con grandes bodegas en las distintas centrales de abasto del país, lo que les permite comerciar directamente el producto. Los que no tienen bodegas envían directamente su producto a las centrales de abasto en donde previamente se fija el precio. La industria compra directamente a los productores bajo el esquema de agricultura por contrato; lo mismo ocurre en toda la zona norte del país.

Sin embargo, en el Estado de México el “mediero” es fundamental. Los medieros comparten la mitad de los gastos de producción, pero también les corresponde la mitad de las ganancias, bajo este esquema, los productores o medieros venden directamente en las centrales de abasto con base en un contrato previo; en éste se establece el precio de venta y las condiciones de la hortaliza; también se vende utilizando el mecanismo de oferta y demanda para fijar el precio en las centrales de abasto.

Igualmente existen los intermediarios, los cuales compran a pie de parcela el producto y después ellos lo venden en las centrales de abasto o pequeños mercados. En el estado de México, la industria no tiene presencia, ya que la papa que se produce es de color, la cual no se utiliza en la industria. El circuito de comercialización se puede ejemplificar en el esquema mostrado en la Figura 4.

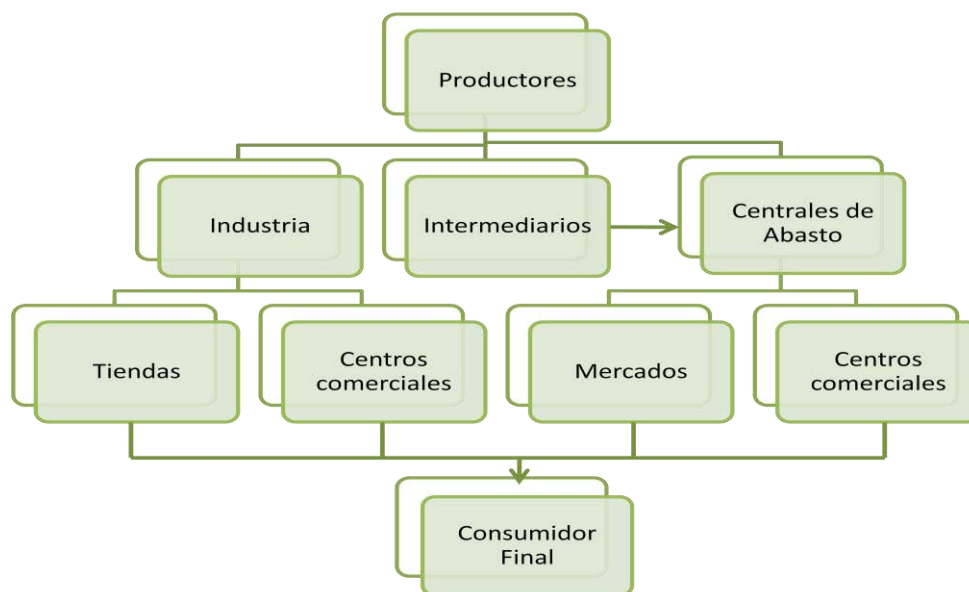


Figura 4. Circuito de comercialización de la papa en México.

Fuente: Sagarpa (2011).

En general, la comercialización empieza cuando la producción es llevada a los centros de abasto, ya sea por los propios productores o por los intermediarios que la adquieren a pie de parcela. Después de la central de abasto, se distribuye a los diferentes mercados, tianguis y centros comerciales. Para que finalmente la adquiera el consumidor final.

Las papas se pueden almacenar a temperatura ambiente o a bajas temperaturas. En las centrales de abastos, generalmente se almacenan a temperatura ambiente y en estas condiciones las bodegas deberán ser lugares frescos o con buena ventilación y con paredes en buenas condiciones que no permitan la incidencia directa de rayos solares, o entrada de agua durante lluvias. El local se debe inspeccionar permanentemente para detectar síntomas de deterioro para proceder a una nueva selección o para enviar las papas para consumo. El almacenamiento puede ser en cajas o en micropilones, y el producto, antes de almacenarse, debe ser seleccionado rigurosamente. El almacenamiento puede ser en cajas o sacos pero la distribución de éstas y el acomodo de las estibas dentro del almacén es de importancia para asegurar la calidad del producto (Martínez y Alemán, 2006). Desafortunadamente en nuestro país la mayoría de las veces no se llevan a cabo estos requerimientos, repercutiendo generalmente en la calidad de las papas frescas.




1.6. Variedades

En nuestro país existe un importante número de variedades entre las que destaca la „Alpha“, además de que se cuenta con otras como la „López“, „Rosita“, „Atlantic“, „Diamante“, „Motzamba“, „Tollocan“, „Atzimba“, „Greta“, „Murca“, „Furore“, „White Rose“ y „Criolla“, muchas de las cuales son variedades liberadas, resistentes al tizón tardío (SAGARPA, 2011).

Actualmente, se tiene en observación a los nuevos genotipos europeos de papa para ser validados en calidad, sanidad y rendimiento superiores a la variedad „Alpha“, esto con la finalidad de mostrar al productor nuevas alternativas de selección de semilla del tubérculo y una mayor rentabilidad del cultivo, dentro de las cuales destacan la „Fábula“, „Adora“, „Snowen“, „César“, „Vivaldi“ y „Fianna“. Por otro lado, las principales variedades que son utilizadas para el consumo en fresco son „Fábula“, „Adora“, „César“, „Vivaldi“, „Fianna“, y „Alpha“, mientras que para la industria, las variedades destinadas, principalmente, son „Atlantic“ y „Snowen“ (Meza, 2009).

En el Cuadro 3 se muestran las características de algunas variedades de papa más utilizadas en México.

Cuadro 3. Variedades de papa más utilizadas a nivel nacional.

Variedad	Descripción
 „Atlantic“	<p>Origen: USA, 1978. Inscrita en Argentina el 24/10/1995 por Gabbin Ricardo y Faccennini Eduardo.</p> <p>Descripción: Tubérculo redondeado, piel casposa, ojos superficiales, carne blanca. La planta es mediana a grande, erecta con hojas grandes, crece muy rápido.</p> <p>Características: Buen calibre, rendimiento mediano, madurez temprana, medianamente resistente a sarna común, <i>Verticillium</i> y PVX (Virus del mosaico latente). Susceptible a corazón hueco, <i>Phytophthora infestans</i> y PVY (Virus del mosaico severo). Calidad culinaria, alta materia seca, muy buena para chips y mercado fresco, baja capacidad de almacenamiento.</p>



Cuadro 3. Variedades de papa más utilizadas a nivel nacional (Continuación).

Variedad	Descripción
 „Alpha“	<p>Origen: Esta variedad viene de Holanda desde el año 1925.</p> <p>Descripción: Alpha tiene un tubérculo ovalado con cáscara amarilla y pulpa amarilla ligera. La planta es mediana, extendida y tiene varias flores.</p> <p>Características: Tiene un rendimiento alto, su mercado es uso de mesa y para hervir. Su madurez es muy tardía de 130 a 140 días. La planta resista la sequía, calor, mal trato, Tizón tardío y sarna común. Es susceptible a enrollamiento de hoja y PVY (Virus del mosaico severo). En almacenamiento dura bastante tiempo con poca brotación.</p>
 „Fianna“	<p>Origen: Holanda</p> <p>Descripción: Los tubérculos son ovalados y alargados, piel amarilla, carne amarilla clara. Cobertura del follaje media a alta. Flor color blanca y brote azul.</p> <p>Características: Calibre grande a muy grande, rendimiento alto, maduración semitardía. Buena resistencia a PLRV (Virus del enrollamiento de la hoja) y Sarna Común. Buen comportamiento a <i>Phytophthora infestans</i> y Virus PVY (Virus del mosaico severo). Alta materia seca. Muy buena para mercado fresco y chips.</p>
 „Giant“	<p>Características: Gran variedad de alto rendimiento que tiene una buena resistencia a la sequía. Muy alto contenido de materia seca. Buena aptitud y capacidad de almacenamiento. Muy buena para hornear, y para hervir.</p>
 „César“	<p>Características: Gran variedad de alto rendimiento; uniforme en la clasificación. Buena resistencia a la sequía y de crecimiento secundario, moderadamente buena resistencia a la contusión interna. Peso específico medio. Carne bastante firme, buena para el consumo fresco.</p>

Fuente: OEIDRUS (2009).



1.7. Composición química

Es difícil obtener la composición química de las papa no sólo porque puede variar sustancialmente, de acuerdo con la variedad, condiciones de cultivo (calidad de la semilla, tipo de suelo, fertilizantes, temperatura, humedad, luz), grado de madurez y condiciones de almacenamiento (Hasbún *et al.* 2009) sino también por los métodos de análisis utilizados para la determinación de la misma (Talburt y Smith, 1987).

El grado de variación composicional entre los tubérculos de papa ha sido relacionado también al tipo, desarrollo, anatomía y a la parte del tejido al que se le realicen los análisis (Talburt y Smith, 1987). En el Cuadro 4 se muestra la composición química de la papa blanca.

Cuadro 4. Composición química de papa blanca.

Componente	Porcentaje (%)	Rango (%)
Humedad	77.5	63.2 - 86.9
Sólidos totales	22.5	13.1 - 36.8
Proteína	2.0	0.7 - 4.6
Grasas	0.1	0.02 - 0.96
Carbohidratos	19.4	13.3 – 30.5
Cenizas	1.0	0.44 – 1.9

Fuente: Talburt y Smith (1987).

La papa es un alimento muy nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón, así como funciones reguladoras del organismo por su elevado contenido en vitaminas hidrosolubles, minerales y fibra (CAMAGRO, 2005). El almidón constituye alrededor del 65-80% de la materia seca de la papa, es energéticamente hablando el componente nutricional más importante (Talburt y Smith, 1987).

Además, tiene un contenido no despreciable de proteínas, presentando éstas un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal (CAMAGRO, 2005). Alrededor del 50% del total de nitrógeno en papas es derivado de proteínas, el nitrógeno restante consiste en aminoácidos libres (15%), nitroamidas asociadas con asparaginas y glutamina (23%) y nitrógeno no proteico asociado con los glucoalcaloides solanina y



chaconina, además de metabolitos secundarios como acetilcolina, adenina, cadaverina, guanina, hipoxantina, narcotina, trigonelina y xantina (12%). Ensayos en nutrición humana sugieren que las proteínas de papa son de alta calidad cuando se comparan con otras proteínas de origen vegetal (Rodríguez y Ríos, 2010).

1.8. Almacenamiento

El almacenamiento permite desplazar la papa a lo largo del año de modo que los consumidores dispongan fácilmente de la misma y evita fluctuaciones importantes en el abastecimiento (Booth y Shaw, 1990). El principal objetivo del almacenamiento es conservar la mayor cantidad de agua dentro del tubérculo (CAMAGRO, 2005).

Un buen almacenamiento será aquel que prevenga la pérdida de humedad, el desarrollo de raíces y el excesivo crecimiento de brotes (Talbur y Smith, 1987). Así como impedir el desarrollo de microorganismos que ocasionen enfermedades en el producto ya que las enfermedades son una importante fuente de pérdidas en postcosecha, particularmente en combinación con un manejo rudo y un pobre control de la temperatura (Suslow y Voss, 2009). Por esta razón, el sitio seleccionado debe ser oscuro y bien aireado con buena ventilación para impedir la actividad de hongos y bacterias en los tubérculos. Además, la humedad relativa debe ser alta con el fin de evitar también la pérdida de agua, la presión de aplastamiento y el encogimiento del mismo (CAMAGRO, 2005). De esta manera el propósito del almacenamiento es el de mantener los tubérculos en condiciones que sean aptas para el consumo y la comercialización (Talbur y Smith, 1987).

Durante la cosecha y el transporte al almacén las papas, es común que la mayoría de los tubérculos y raíces sufran heridas moderadas en la superficie y ligeras cortaduras, por lo que estas pequeñas heridas deben ser curadas antes del almacenamiento para evitar pérdidas (Ryall y Lypton, 1979). Las papas dulces deben ser curadas a temperaturas de 32°C y humedades relativas de entre 85-90% por aproximadamente 7 días. Después del curado, la temperatura debe bajarse de entre 13-16°C a humedades relativas de entre 85-90% (Lu, 1988). Cuando se van a almacenar las papas en condiciones de baja temperatura, el periodo de curado debe ser de entre 10-14 días. Éste se logra manteniendo los tubérculos a temperaturas superiores a 18.5°C por un par de días y gradualmente ir disminuyendo la temperatura de entre 7.5-10°C por un periodo de 10-12



días. Una humedad relativa alta es esencial para un buen curado, esta debe estar entre 90-95% para acelerar el crecimiento de la peridermis del tubérculo (Ryall y Lypton, 1979).

1.8.1. Condiciones óptimas de almacenamiento

Es necesario diferenciar entre las papas de variedades tempranas y tardías, ya que las primeras son más perecederas que las otras, por lo que su almacenamiento solamente es por cortos períodos, en el Cuadro 5 se muestran las condiciones óptimas de almacenamiento según la variedad.

Cuadro 5. Condiciones óptimas de almacenamiento de la papa a diferentes estadios.

Tipo	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Tiempo de almacenamiento
Papa temprana	10 – 16	90 – 95	10 – 14 días
Papa tardía	4.5 – 13	90 – 95	5 – 10 meses

Fuente: CAMAGRO (2005).

Con base en estudios realizados por Martínez y Alemán (2006), en papas procedentes de Cuba, las temperaturas adecuadas para un almacenamiento prolongado también están en dependencia del uso a que se destinen los tubérculos y son:

- Tubérculos para semilla de 3 a 4°C
- Tubérculos para el consumo de 5 a 7°C
- Tubérculos para freír de 6 a 8°C
- Tubérculos para chips de 7 a 10°C

Usualmente las papas destinadas a procesamiento son almacenadas a 10°C, pero las recomendaciones para temperaturas almacenadas varían de 9 a 15°C. La razón principal es la tendencia de las papas a acumular azúcares a bajas temperaturas. Ésta acumulación ocasiona un oscurecimiento en los productos fritos procesados (Ryall y Lypton, 1979).



A temperaturas superiores a 4°C se deben emplear inhibidores de brotación y la humedad relativa debe mantenerse lo más alta posible (de 95 a 98 %) durante todo el período de almacenamiento. No obstante, la superficie de los tubérculos debe mantenerse siempre seca (Martínez y Alemán, 2006).

Otras fuentes presentan las condiciones óptimas mostradas en el Cuadro 6 para el almacenamiento de papas en base al uso al que serán destinados.

Cuadro 6. Condiciones óptimas de almacenamiento.

Uso	Temperatura (°C)	HR (%)
Para mesa	7	98
Para freír	10 – 15	95
Para la elaboración de “chips”	15 – 20	95

Fuente: Suslow y Voss (2009).

En condiciones óptimas, las papas deben presentar buena calidad después de un almacenamiento de 3 a 5 semanas. Se recomienda un almacenamiento menor a 3 semanas para mantener una buena calidad visual y sensorial de las papas inmaduras (Suslow y Voss, 2009).

1.8.2. Cambios durante el almacenamiento

Dentro del almacenamiento es importante considerar el movimiento suficiente de aire, para que haya una temperatura uniforme y prevenir la acumulación de CO₂. Además se debe hacer un monitoreo semanalmente para ir eliminando los tubérculos arruinados, y así evitar la contaminación dentro del almacenamiento (CAMAGRO, 2005).

La respiración del tubérculo durante el almacenamiento trae como resultado la pérdida de peso. A una temperatura de almacenamiento de 10°C esta pérdida representa aproximadamente de 1 a 2% del peso fresco durante el primer mes y cerca del 0.8% en cada mes posterior; pero sube cerca de 1.5% por mes cuando el brotamiento está avanzado. El efecto más importante de la respiración de los tubérculos es la producción de *calor*, lo cual afecta a las temperaturas del local de almacenamiento y los sistemas de



ventilación. La tasa de respiración depende de la temperatura y es mínima alrededor de 5°C. En el Cuadro 7 se muestra la tasa de respiración de los tubérculos de papa a diferentes temperaturas (Booth y Shaw, 1990).

Cuadro 7. Tasa de respiración de la papa.

Temperatura (°C)	Producción de CO ₂ (mL CO ₂ /kgh)
5	6 – 8
10	7 – 11
15	7 – 16
20	9 – 23

Fuente: CAMAGRO (2005).

Si los tubérculos se guardan en un ambiente con deficiencia de oxígeno, pueden ocurrir diversos tipos de daños, tales como fermentación, pérdida del sabor, descomposición del tejido y muerte (Booth y Shaw, 1990). En la Figura 5 se muestra la curva de respiración de los tubérculos de papa.

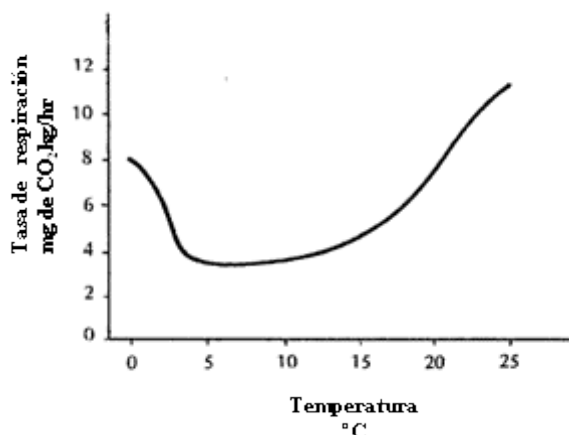


Figura 5. Tasa de respiración de la papa.

Fuente: Booth y Shaw (1990).

Los tubérculos de papa inmaduros, que se caracterizan por ser susceptibles a daño por golpes y peladuras, pueden presentar altas tasas de respiración. Las temperaturas más bajas y/o el incremento en el movimiento del aire son métodos efectivos para aminorar los daños por el incremento de la respiración (Suslow y Voss, 2009).



1.8.3. Problemas durante el almacenamiento

Algunos de los problemas que se pueden presentar durante el almacenamiento de los tubérculos de papa son los siguientes:

Crecimiento de brotes

El brotamiento causa grandes pérdidas fisiológicas durante el almacenamiento, pues reduce el valor de comercialización aumentando también las pérdidas por respiración y evaporación (Booth y Shaw, 1990). Aunque el limitado brotamiento no afecta el valor nutricional, si afecta a la apariencia de las mismas (Figura 6) y las papas con malos brotes son arrugadas y difíciles de manejar o procesar (Ryall y Lypton, 1979). Los tubérculos dañados y enfermos brotan antes que los completamente sanos. Normalmente en el momento de la cosecha los tubérculos están en reposo. Cuando termina el reposo comienza el crecimiento de brotes. Los principales factores que influyen en la tasa y forma de crecimiento son la variedad de papa, el manejo previo al almacenamiento, la temperatura, la humedad, la composición de la atmósfera y el grado de exposición a la luz. El crecimiento de los brotes es lento a temperaturas de 5°C y menores. Por arriba de 5°C un incremento de temperatura aumenta el crecimiento de brotes hasta una temperatura óptima de alrededor de 20°C, por encima de la cual la tasa de crecimiento disminuye. La humedad de almacenamiento puede afectar la tasa de crecimiento de los brotes, especialmente cuando el brotamiento está avanzado. El crecimiento de los brotes también es estimulado por un aumento en el CO₂ (Booth y Shaw, 1990). El brotamiento en papas ocurre en los tubérculos al final del periodo de reposo o dormancia, cuando existen condiciones exógenas como temperaturas y fotoperiodos favorables (Talbur y Smith 1987), esto es deseado cuando el almacenamiento es para papas semilla, pero indeseado para los tubérculos destinados a consumo en fresco. Para prolongar el periodo de dormancia, se deben almacenar los tubérculos a bajas temperaturas o tratarlas con inhibidores de brotamiento (Mondoñedo *et al.*, 1983). Se han estudiado nuevas estrategias de control del periodo de dormancia, ya que las frecuentemente empleadas, generalmente resultan problemáticas. Entre las que destacan la producción de papas genéticamente modificadas con rutas metabólicas alteradas para prolongar el periodo de dormancia después de ser cosechadas (Sonnewald, 2001).



Figura 6. Brotamiento en papas.

Degradación de almidón

En los tubérculos de papas almacenados ocurre una perfecta conversión de almidón en azúcar y de azúcar en almidón. Estas conversiones se llevan a cabo mediante la acción enzimática, la cual es controlada por la temperatura (Martínez y Alemán, 2006). El almacenamiento de tubérculos a bajas temperaturas (por debajo de los 4°C) induce a aumentar los azúcares (Moreno *et al.*, 2007). A temperaturas normales de refrigeración (2 – 6°C), los almidones que contienen se convierten para producir altos niveles de azúcares reductores (CAMAGRO, 2005). La glucosa y la fructosa son considerados azúcares reductores. Tienen una influencia significativa en la elaboración de productos fritos porque influyen directamente en la formación del color y del sabor de los mismos. Si el contenido en azúcares reductores es alto, aparece un producto con color marrón oscuro y sabor amargo. Por eso, la industria requiere de variedades con bajos contenidos en azúcares reductores: inferiores al 0.1% del peso fresco es ideal para la producción de hojuelas y más alto de 0.33% es inaceptable (Moreno *et al.*, 2007). Tales tubérculos tienen una baja calidad culinaria y un sabor dulce. Para prevenir esto, los tubérculos para consumo deben ser almacenados a una temperatura superior a 7 °C. Otra medida pudiera ser mantener los tubérculos sacados de los almacenes refrigerados durante algunos días a temperaturas de alrededor de 15°C antes de su expendio para el consumo (Martínez y Alemán, 2005).



Además del aumento del contenido de azúcar como consecuencia de la exposición a bajas temperaturas, su concentración muestra una tendencia a aumentar después de un almacenamiento prolongado a temperaturas más altas, lo que se conoce como endulzamiento por envejecimiento (Booth y Shaw, 1990).

Enverdecimiento

El verdeamiento de los tubérculos es un desorden fisiológico que ocurre cuando son expuestos a la luz. La exposición a la luz brillante durante el manejo de postcosecha, o períodos más largos (1 a 2 semanas) con luz de baja intensidad, puede resultar en el desarrollo de clorofila en el tubérculo de papa, el cual es anatómicamente un tallo modificado. Asociado con el reverdecimiento, se producen glicoalcaloides amargos y tóxicos tales como la solanina. La solanina también es producida en respuesta a golpes, heridas (incluyendo el procesamiento en fresco seguido de almacenaje), y durante la brotación. Los glicoalcaloides son estables al calor y son mínimamente afectados por el cocinado (CAMAGRO, 2005). Los cambios anteriores no demeritan a los tubérculos destinados a semilla, los cuales pueden almacenarse a temperaturas bajas (4 - 4,5°C) y exponerse a la luz si se hace necesario. La conservación de los tubérculos para semilla a baja temperatura a la luz difusa prolonga su denominada vida de almacenamiento (Martínez y Alemán, 2005).

1.9. Desórdenes fisiológicos

Debido a que los tubérculos son órganos vivos, las pérdidas fisiológicas se producen por la exposición a temperaturas extremas, por la respiración natural de la materia seca, y por las pérdidas de agua por transpiración. La magnitud de las pérdidas depende del ambiente de almacenamiento, pero siempre será mayor en aquellos tubérculos dañados y enfermos, que en los completamente sanos. El daño fisiológico puede ocurrir por la exposición de los tubérculos a altas o bajas temperaturas antes, durante o después del almacenamiento (Booth y Shaw, 1990).



Algunos de los desórdenes fisiológicos se muestran a continuación:

Corazón Negro: Raro en papas de cosecha temprana sujetas a típico manejo comercial. En condiciones de restringido flujo de aire y alta respiración, los tubérculos mantenidos a temperaturas superiores a 15°C (rápidamente sobre 20°C) desarrollan una decoloración parda interna, la cual eventualmente llega a ser negra (Figura 7). Bajo estas condiciones, insuficiente oxígeno alcanza el interior del tubérculo (Suslow y Voss, 2009). El ennegrecimiento del centro del tubérculo, es consecuencia de una deficiencia aguda de oxígeno asociada a temperaturas bajas en almacenamiento cerrado o a temperaturas altas del suelo en el campo. Posteriormente los tubérculos afectados se pudren (CAMAGRO, 2005).

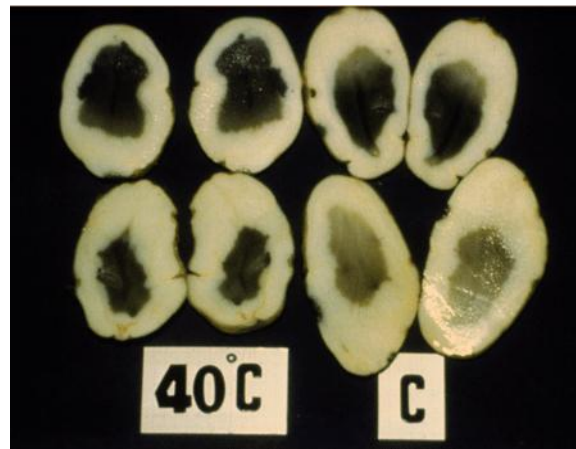


Figura 7. Corazón negro.

Fuente: Suslow y Voss (2009).

Mancha Negra: Responsable de significativas pérdidas en postcosecha, particularmente en respuesta a la sobre-fertilización con nitrógeno, baja disponibilidad de potasio, riego irregular y otras prácticas de precosecha. Compuestos incoloros se forman en el tejido vascular justo debajo de la piel durante el almacenamiento. Después de un daño severo o corte, el tejido afectado se torna rojizo, luego llega a ser azul y tras 24 a 72 horas cambia a negro. La severidad se incrementa con el tiempo. Las variedades difieren significativamente en la susceptibilidad y manifestación de los síntomas (CAMAGRO, 2005).



Daño por frío. El almacenamiento a temperaturas cercanas a 0°C por unas pocas semanas puede resultar en una descoloración caoba del tejido interno en algunas variedades (Figura 8). Períodos de almacenamiento mucho más largo son requeridos para inducir daño por frío (Suslow y Voss, 2009).

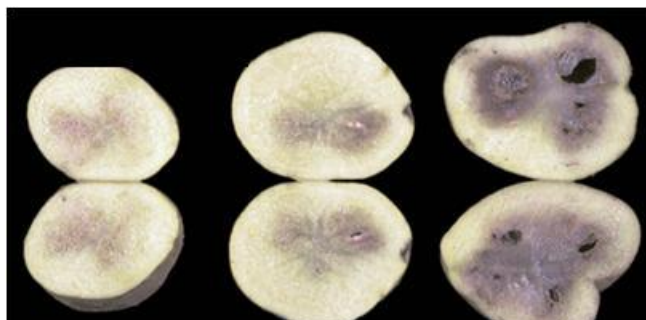


Figura 8. Pardeamiento interno a causa de daños por frío.

Fuente: Suslow y Voss (2009).

La refrigeración de papas no es recomendada porque son sensibles al daño por frío. A temperaturas normales de refrigeración (2–6°C), los almidones que contienen se convierten para producir altos niveles de azúcar. Estas azúcares ocasionarán que las papas se tornen de color café muy rápidamente cuando se fríen. Cuando los tubérculos se descongelan, se vuelven blandos y esponjosos y les sale agua por las lesiones y los ojos. Los cortes transversales se vuelven rosados, luego devienen oscuros (CAMAGRO, 2005).

Mancha parda interna: Sectores o manchas de color negro o pardo-rojizo de textura corchosa y seca. El manejo irregular del riego y/o amplias fluctuaciones de la temperatura inducen la deficiencia en la adsorción del calcio, usualmente en el desarrollo temprano del tubérculo. Una disponibilidad de agua irregular puede también resultar en corazón hueco, una cavidad corchosa en el centro del tubérculo (CAMAGRO, 2005).



1.10. Daño mecánico

La cosecha, el empaquetado y el manejo deben ser hechos con gran cuidado para prevenir daños a la altamente sensible y delgada piel de los túrgidos tubérculos (Figura 9). El aplastamiento, golpes por presión, mancha parda y tubérculos destrozados, son defectos comunes y pueden conducir a la pérdida de agua, encogimiento y pudriciones.

Mancha parda: Decoloración justo por debajo de la capa interna de la superficie, la cual es resultado de golpes o manejo rudo (Suslow y Voss, 2009).

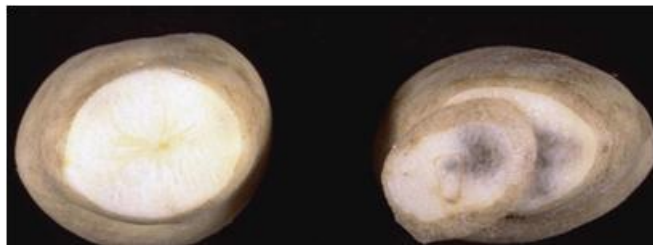


Figura 9. Daños mecánicos.

Fuente: Suslow y Voss (2009).

Daño por congelamiento. El daño por congelamiento se puede iniciar a -0.8°C . Los síntomas de este daño pueden incluir apariencia de tejido embebido en agua, vidriosidad y desorganización del tejido al descongelarse. Un leve daño por congelamiento puede resultar en daño por frío (Suslow y Voss, 2009).

1.11. Enfermedades

Las enfermedades son una importante fuente de pérdidas en postcosecha, particularmente en combinación con un manejo inadecuado y un pobre control de la temperatura (CAMAGRO, 2005).



Las enfermedades pueden causar grandes pérdidas durante el almacenamiento. No obstante, la infección tiene lugar en el campo y las enfermedades se desarrollan posteriormente durante el almacenamiento o cuando se eleva la temperatura después de éste. La diseminación de las enfermedades se facilita por la presencia de agua en la superficie de los tubérculos, daños y altas temperaturas de almacenamiento. Las



condiciones de aireación o ventilación del almacén son importantes, pues el exceso de CO₂ provoca que las infecciones latentes de bacterias (*Erwinia carotovora* var. atroseptica) se conviertan en activas y ocasionen pudriciones blandas (Martínez y Alemán, 2006).

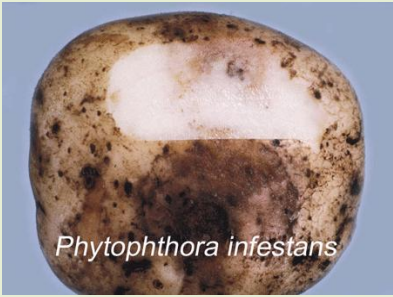

En la Cuadro 8 se muestran los más importantes patógenos bacterianos y hongos que causan pérdidas en tránsito, almacenamiento y a nivel de consumidor son:

Cuadro 8. Patógenos bacterianos y hongos en papa.

Pudrición	Patógeno	Descripción
Pudrición blanda bacteriana	 <i>Erwinia carotovora</i>	La infección se inicia a través de heridas, grietas y lenticelas (agrupaciones de células esponjosas que permiten el intercambio gaseoso). Al interior de los tejidos la bacteria se multiplica en los espacios intercelulares, produciendo enzimas que disuelven las uniones entre las células. Éstas pierden agua, formándose una masa viscosa con las bacterias y sustancias de unión disueltas.
Pudrición seca por <i>Fusarium</i>	 <i>Fusarium solani</i> y <i>Fusarium roseum</i>	Debido a que estos hongos no tienen capacidad para infectar el peridermo o las lenticelas, las infecciones ocurren a través de heridas. Las lesiones crecen lentamente colonizando en profundidad el tubérculo. El peridermo del área afectada se hunde y arruga formando anillos concéntricos a medida que el tejido se va secando. Posteriormente aparece el micelio y esporas del hongo, y el tubérculo completo se mimifica.



Cuadro 8. Patógenos bacterianos y hongos en papa (Continuación).

Pudrición	Patógeno	Descripción
Tizón tardío	 <i>Phytophthora infestans</i>	En la parte externa de los tubérculos infectados se observan depresiones muy superficiales e irregulares, de tamaño variable y de consistencia dura. Al hacer un ligero raspado debajo de la piel afectada el tejido es de color marrón. Cortando transversalmente un tubérculo afectado, se observa en la superficie de corte una necrosis de forma irregular, de color marrón, de apariencia granular que avanza de la periferia hacia el centro de la médula.
Pudrición rosa	 <i>Phytophthora erythroseptica</i>	Los tubérculos afectados, muestran externamente, áreas o manchas necróticas y una secreción acuosa que aflora por las yemas y/o lenticelas. Cuando los tubérculos enfermos se cortan transversalmente, la superficie de corte tiene una textura esponjosa y si se presiona con la yema de los dedos, discurre una secreción acuosa. Si la superficie partida se expone al medio ambiente, después de 15 a 20 minutos, cambia sucesivamente de color, del blanco o crema inicial a rosado, marrón y finalmente negro. El color rosado que muestran los tubérculos partidos es una característica típica de la enfermedad.

Fuente: Suslow y Voss (2009); INIA (2002); Cipotato (2002).

Además las enfermedades ocasionalmente serias de tubérculos inmaduros incluyen el Ojo Rosa por *Pseudomonas fluorescens* y el Moho Gris por *Botrytis cinerea* (CAMAGRO, 2005).



1.12. Industrialización de la papa en México

Al igual que en otros países, la producción de papa en México ha incrementado su productividad, propiciando con ello la disponibilidad de excedentes; situación que ha llevado a un crecimiento en la industrialización de éste producto (Hernández, 2000).

De acuerdo con cifras de la Confederación Nacional de Productores de Papa (CONPAPA), el 68% de la producción nacional se destina al consumo en fresco, el 19% a la industria y el 13% para semilla que se utiliza en las siembras del siguiente ciclo (SAGARPA, 2011).

La industria de la papa en México en los últimos años ha ido creciendo; esto, debido a la necesidad de la población de obtener comida rápida. Entre los principales productos que podemos obtener de este tubérculo se encuentran: papas fritas, congeladas, deshidratadas, hojuelas, otros productos congelados y otros (Hernández, 2000). En los últimos años el consumo de papas fritas creció más que el consumo de fresca (SAGARPA, 2011).

La industria de papa frita en hojuela (chips), es de la de mayor importancia en México, así se cuenta con dos tipos de industrias. La primera, que es la más relevante, está formada por dos grandes empresas: Sabritas S.A. de C.V. perteneciente a la corporación Pepsico Inc., y Barcel México S.A. de C.V. del grupo Bimbo S.A. y capital mexicano. La segunda está representada por todas las microempresas ubicadas a lo largo del país, tanto para papas a la francesa como para hojuelas (Hernández, 2000). Dentro de las grandes empresas también podemos ubicar a Sabritas que participa con el 80%; Barcel, con el 10% y el resto son las otras empresas (SAGARPA, 2011).

Sabritas tiene convenios con productores, principalmente de la zona norte del país, en donde adquiere la papa bajo el esquema de agricultura por contrato. En esta región compra aproximadamente el 20% de la producción. Otra forma de consumir la papa sin que represente un alto grado de transformación es prefrita congelada y se encuentra en casi todas las tiendas de autoservicio. Aunque en México, como en otros países, en las cadenas de comida rápida son los lugares donde las papas fritas tienen mayor demanda.



La alta producción se debe a que el mercado nacional de frituras representa uno de los mercados más fuertes en el ámbito nacional donde el consumidor habitual de frituras destina una mayor parte de su ingreso a estos productos que incluyendo el destinado a alimentos básicos (Santiago, 2001).

1.13. Papas fritas

1.13.1. Requerimientos para procesamiento

El productor estará interesado en el rendimiento de las papas fritas producidas a partir de una cantidad dada de patatas y los factores que afectan como; el color y el sabor; el contenido de aceite de las papas y los factores que contribuyen a éste (Talburt y Smith, 1987).

Los componentes más significativos para la industria de procesamiento son los altos contenidos de almidón y materia seca. Otros componentes que influyen directamente en la calidad y clasificación de variedades para diferentes procesos industriales son: glucosa, fructosa y sacarosa. Son los azúcares más importantes y los que se encuentran en mayor cantidad en la carne del tubérculo (Moreno, 2000).

El contenido de sólidos (materia seca) en la papa es una de las características más importantes para el procesamiento industrial, ya que en la mayoría de procesos, contenidos altos son sinónimo de alto rendimiento; para los procesos industriales que involucren deshidratación como papa prefrita o tostada, se requiere un valor >20%. El contenido de materia seca varía de 15-24% entre las diferentes variedades de papas y cultivares (Smith, 1997). El contenido de sólidos totales de la papa se suele correlacionar con la gravedad específica (Hasbún *et al.*, 2009). La gravedad específica de las papas comerciales se encuentra entre rangos de 1.058 a 1.105 g/m³. Los valores de gravedad específica para estos corresponden aproximadamente el 15% de materia seca (85% de agua) y el 25% de materia seca (75% de agua), respectivamente (Smith, 1997). Los sólidos totales están relacionados principalmente con un porcentaje de almidón alto (Hasbún *et al.*, 2009). Debido a este contenido alto de almidón, las papas son una buena fuente de energía donde después del agua, el almidón es el segundo componente más



abundante en la papa, con alrededor de 60-80% de la materia seca (Talburt y Smith, 1987).

Otros de los componentes con gran influencia sobre la calidad de los productos procesados de papa son los azúcares reductores. Algunos autores describen contenidos de azúcares reductores en diferentes variedades de papa de 0,040-1% en peso fresco. La presencia de azúcares reductores es de gran importancia en la fritura, ya que el contenido de estos azúcares se correlaciona con el grado de oscurecimiento no enzimático que se desarrolla durante el calentamiento (Hasbún *et al.*, 2009). Probablemente el mayor problema para industria de papas fritas es el mantenimiento del color deseado. Las reacciones de oscurecimiento son uno de los fenómenos de mayor importancia durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Talburt y Smith, 1987). En el caso de productos fritos de papa las reacciones de oscurecimiento no enzimático determinan en gran medida el color de los productos; estas afectan su calidad y representan un área importante de investigación, debido a las implicaciones en la estabilidad de los alimentos, así como aspectos relacionados con nutrición y salud (Hasbún *et al.*, 2009).

No todas las variedades tienen igual calidad de fritura. La calidad de estos productos está asociada al tipo de proceso que se suministra y a las características propias de cada variedad de papa. En general, la absorción de aceite se ve afectada por la gravedad específica de la materia prima, por el tamaño y forma de los trozos de papa y por el tiempo que permanece el producto en el aceite caliente. Además, en los procesos de fritura, el almidón sufre cambios estructurales en los cuales los cristales de la amilosa y de la amilopectina se reorganizan. Esta conformación promueve la formación de un gel que funciona como una barrera protectora contra la entrada del aceite a nivel de fritura. Además del contenido de aceite, características como color y textura resultan de gran relevancia, siendo estos los parámetros de calidad más importantes en los productos procesados a partir de papa (Hasbún *et al.*, 2009; Moreno, 2000).



1.13.2. Proceso de elaboración de papas fritas

A continuación (Figura 10) se presenta el proceso de elaboración de las papas fritas tipo “chips” (Tirilly y Bourgeois, 2002):



Figura 10. Etapas sucesivas de la transformación de papas fritas tipo “chips”.

Fuente: Tirilly y Bourgeois (2002).

Pelado

Los tubérculos destinadas a papas fritas se pelan a vapor: se colocan en una cámara presurizada, llamada boule, se tratan durante un tiempo muy corto, del orden de 30 a 90 segundo con vapor a presión (8 a 16 bares), lo que provoca una cocción superficial de algunos milímetros. A continuación la parte cocida se elimina con un cepillado o con



chorros de agua. Dependiendo de las características de la materia prima, se puede regular el tiempo de pelado con el fin de encontrar el resultado de la proporción pelado/pérdidas de producto más eficiente.

Recortado

Para las papas fritas tipo “chips” se cortan pasando los tubérculos por un tambor rotatorio. El espesor de las láminas varía de 1.2 a 2 mm. Después del corte las papas se lavan para eliminar el almidón libre.

Escaldado

La mayor parte de los procesos de transformación conllevan un escaldado de la materia prima precocción en agua a una temperatura comprendida entre 65 y 100°C. Con este proceso se consigue bloquear la actividad de las polifenol oxidasas (PPO), responsables del pardeamiento enzimático; eliminar por difusión los azúcares reductores situados en las superficies de los trozos de papas, lo que permite un color más claro y más homogéneos de los productos después de la fritura; y mantener una buena textura en las papas fritas.

Fritura

Las freidoras consisten en una cuba de cocción que contiene una banda transportadora de malla. Los aceites utilizados generalmente son mezclas, variables según los productos, a base de aceites “fluidos” (cacahuete, girasol, etc.) y de los denominados “concretos” (palma, copra, etc.). A los aceites industriales se incorporan diversos aditivos: colorantes (curcumina), riboflavina, antioxidantes (ácido ascórbico y ascorbatos), tocoferol natural y emulsionantes (mono y diglicéridos de ácidos grasos).

La temperatura de cocción de las papas fritas (chips) permite la casi total evaporación del agua (contenido en agua 1 a 3%). La temperatura de fritura es del orden de 170 a 180°C. El contenido de aceite de las chips está comprendido entre 35 y 40%. Varía por diversos factores como el contenido de materia seca, el espesor de las láminas, la temperatura del aceite y el tiempo de fritura; y el tipo de aceite.



Después de la fritura, las chips son enfriadas por medio de una corriente de aire a temperatura decreciente. La sal es añadida a determinadas concentraciones por peso en papas.

Acondicionamiento

Después del salado o aromatización, las papas fritas (chips) se envasan en bolsas termosellables, estancas a la humedad, eventualmente metalizadas, bajo una ligera presión de aire, con el fin de evitar las roturas en el transcurso manipulado.

1.14. Contaminantes químicos en el procesamiento de alimentos

Los componentes de los alimentos pueden reaccionar con agentes físicos (calor, luz), durante el cocinado, procesado y almacenamiento, y dar lugar a derivados más o menos tóxicos que los compuestos de partida, o de diferente toxicidad (Repetto, 1995). De ésta manera, el empleo de altas temperaturas, en combinación con otros factores externos del alimento, puede dar lugar a la formación de algunos compuestos tóxicos que además de reducir el valor biológico, inciden en la seguridad del mismo. Estas sustancias químicas se denominan contaminantes químicos de procesado. Son compuestos que no estaban presentes en el alimento fresco y cuya génesis está directamente relacionada con el proceso tecnológico aplicado. Se conocen una serie de contaminantes químicos de procesado como son las aminas heterocíclicas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, las nitrosaminas y más recientemente, las acrilamidas (Morales *et al.*, 2005).

1.14.1. Definición e importancia de las acrilamidas

La acrilamida, C_3H_5NO , es un polvo cristalino, incoloro e inodoro cuya estructura química se presenta en la Figura 11. Es un intermediario químico usado en la producción y síntesis de poliacrilamidas, las cuales son compuestos que se usan principalmente para tratar eflujos de aguas residuales desde plantas de tratamiento de aguas y procesos industriales, también se utilizan en la manufactura de tinturas y sustancias químicas orgánicas, lentes de contacto, cosméticos y artículos de tocador, telas inarrugables, papel y productos textiles, en la producción de pulpa, procesamiento de minerales, refinación de azúcar, como agentes para sellar cañerías en alcantarillas y estabilizador de suelos en la



construcción de túneles, alcantarillas, pozos y embalses (ATSDR, 2009). Asimismo, la acrilamida también se usa de forma extensa en los laboratorios moleculares, ya que se emplea como gel de cromatografía (Moreno *et al.*, 2007).

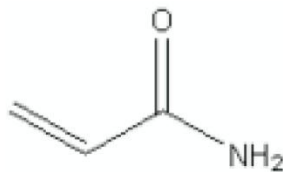


Figura 11. Estructura química de la acrilamida.

Fuente: Moreno *et al.* (2007).

Este compuesto no causa problemas ambientales; generalmente no se encuentra en el aire, puede entrar al agua potable durante el proceso de tratamiento de aguas, pero al igual que en el suelo, es degradada rápidamente por bacterias, por lo que es improbable que se acumule en el ambiente (ATSDR, 2009). Sin embargo, para el hombre, se sabe que la exposición a altos niveles de este tóxico, causa daño en el sistema nervioso y ha sido clasificado como "probable carcinógeno para los humanos" (clase 2A) por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, 1994) y como cancerígeno en la categoría 2 de la Unión Europea (sustancias que deben ser tratadas como si fueran carcinógenas en humanos) (SNT, 2002; European Chemicals Bureau, 2011).

El ser humano puede entrar en contacto con la acrilamida de diversos modos: al respirar humo de tabaco de segunda mano; ingerir agua tratada con residuos de acrilamida, ya que se han detectado concentraciones de unos pocos microgramos por litro en agua de grifo; al estar involucrado en la producción o uso de acrilamida o de productos que la contienen, ya que se exponen a través de contacto con la piel; y finalmente, al ingerir alimentos con contenidos considerables de éste tóxico (ATSDR, 2009).

A principios de 2002, la Administración Nacional de Alimentos de Suecia (SNFA) junto con la Universidad de Estocolmo, anunciaron que ciertos alimentos que son procesados o cocinados a altas temperaturas, contienen niveles relativamente altos de acrilamida (Claus *et al.*, 2008).



En específico, las acrilamidas se forman cuando algunos alimentos, en particular los de origen vegetal, que contienen una gran cantidad de carbohidratos y pocas proteínas, se cocinan a altas temperaturas, superiores por lo general a 150°C (Chie *et al.*, 2006).

El contenido de azúcares reductores se correlaciona fuertemente con la formación de acrilamida. Así algunos autores postulan que la acrilamida se forma durante la elaboración a altas temperaturas de alimentos cocinados a partir de asparagina y estos azúcares reductores (Moreno *et al.*, 2007). Otros autores identifican a la glucosa y a la fructosa como factores críticos de formación de acrilamida en papas pero no hallan correlación entre la formación de ésta y la asparagina libre o el contenido en aminoácidos libres. Sin embargo, estudios posteriores revelan una correlación lineal entre la aparición de acrilamida y los niveles residuales de asparagina y azúcares reductores, destacando el hecho de la mayor formación de acrilamida en presencia de fructosa que de glucosa o α -dicarbonilos (Chie *et al.*, 2006). La formación de acrilamida a partir de aminoácidos libres, más concretamente de la asparagina, puede estar relacionada con la reacción de Maillard, en la que estos aminoácidos reaccionan con compuestos dicarbonilos, productos de la reacción de Maillard, durante el calentamiento (Yoshihiro *et al.*, 2003).

A pesar de que la asparagina sola puede liberar acrilamida por descarboxilación y desaminación térmica inicial, en presencia de azúcares reductores, la formación de acrilamida a partir de asparagina, es significativamente mayor. El principal mecanismo de formación de acrilamida por lo tanto, involucra la reacción de un compuesto carbonilo (de preferencia α -hidroxicarbonilo) con la asparagina, lo que resulta en la conjugación del correspondiente N-glicosil y la formación de una base de Schiff descarboxilada (después de la deshidratación a altas temperaturas). Esta reacción consiste en una cascada de reacciones con diferentes productos intermediarios altamente reactivos que resultan en la formación de acrilamida en los alimentos. En la Figura 12 se muestran los intermediarios propuestos: (a) la descarboxilación de la base de Schiff, que puede conducir después de la descomposición directamente a la acrilamida y una imina o seguida de una hidrólisis a 3 aminopropamida (3-APA) y los compuestos carbonilos; (b) la posterior eliminación de amoníaco a partir de la 3-APA, puede producir a acrilamida.

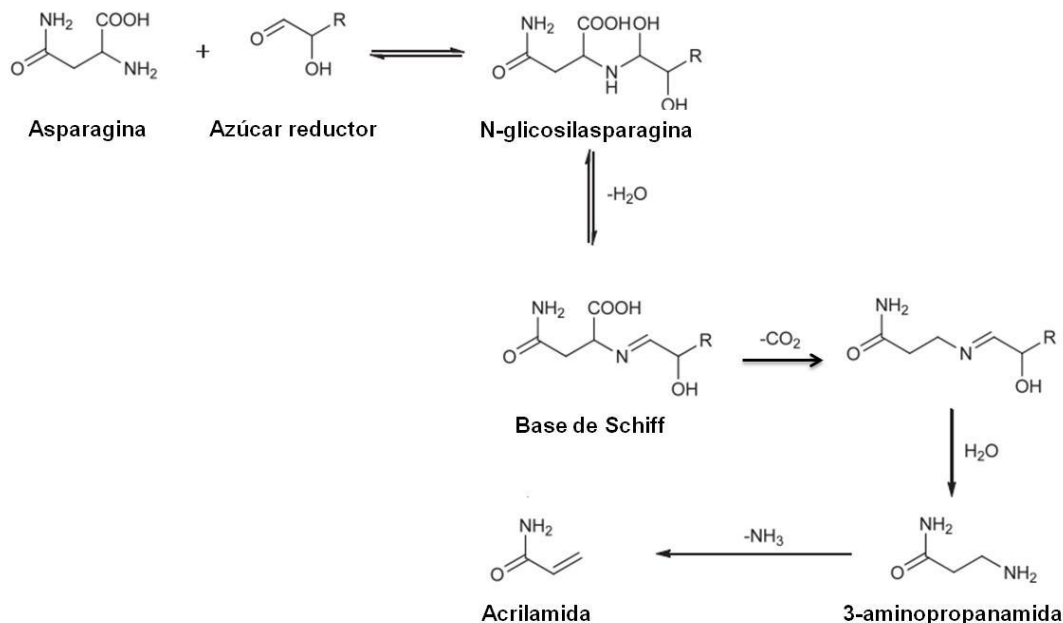


Figura 12. Mecanismo propuesto para la formación de acrilamida como una reacción secundaria de la reacción de Maillard.

Fuente: Medeiros *et al.* (2011).

1.14.2. Exposición alimentaria

Al igual que ocurre con otros tóxicos, la exposición total a esta sustancia es variable y dependerá de la exposición alimentaria y de otras fuentes de exposición como por ejemplo el hábito tabáquico (Stadler y Scholz, 2004). La exposición alimentaria se ve, a su vez, condicionada por los hábitos alimentarios de la población, en concreto el nivel de consumo (cantidad, frecuencia), y el grado de contaminación de los alimentos ingeridos. La tendencia actual en las conductas alimentarias señala un aumento del consumo de alimentos precocinados y fritos lo que deriva en un incremento de la ingesta de alimentos ricos en carbohidratos (entre ellos las patatas fritas) que se caracterizan por presentar niveles más altos de acrilamida que los alimentos proteicos (Moreno *et al.*, 2007). En los cuadros 9-12 se muestran los niveles de acrilamida, referidos en distintos grupos de alimentos, entresacados de bibliografía científica publicada recientemente.



Cuadro 9. Niveles de acrilamida en papas.

Tipo de Alimento	Concentración (µg/kg)	Fuente
Papas de distintas variedades	105-3823	Amrein <i>et al.</i> (2004)
Papas cocidas	ND-<10	NTP-CERHR (2005)
Papas al horno	17-32	NTP-CERHR (2005)
Pastel de papa	225	SNT (2002)
Puré de papa en polvo	15	Konings <i>et al.</i> (2003)
Papas fritas	190	Konings <i>et al.</i> (2003)
Papas fritas en rodajas	367	SNT (2002)
	1312	Tritscher (2004)
Papas fritas en bastones	425	SNT (2002)
	200-12000	Friedman (2003)
	501	Croft <i>et al.</i> (2004)
	537	Tritscher (2004)
	433	Senyuva y Gibkmen (2005b)
	117-1235	NTP-CERHR (2005)
Papas fritas de paquete	1350	SNT (2002)
	170-3700	Friedman (2003)
	350-618	Croft <i>et al.</i> (2004)
	211-5492	Morales <i>et al.</i> (2005)
	117-2762	NTP-CERHR (2005)
Snacks de papas	1168-1243	NTP-CERHR (2005)



Cuadro 10. Niveles de acrilamida en cafés y otras bebidas.

Tipo de Bebida		Concentración (µg/kg)	Fuente
Cafés	Polvo	170-351	Friedman (2003)
		200	Tritscher (2004)
	Turco	29-75	Senyuva y Gibkmen (2005b)
	Instantáneo	42-338	NTP-CERHR (2005)
	Tostado	12-29	
	Elaborado	3-13	
Sin elaborar	37-539		
Lácteos	Leche en polvo	< 30	Konings <i>et al.</i> (2003)
	Yogur líquido		
Chocolate	Polvo	15-90	Friedman (2003)
		75	Tritscher (2004); Rudén (2004)
	Líquido	57	Senyuva y Gibkmen, (2005b)
		ND-909	NTP-CERHR (2005)
Aguas embotelladas, soda y té		50	OMS (2002)
Bebidas de malta instantáneas		53-267	NTP-CERHR (2005)
Zumo de ciruela			
Bebidas alcohólicas	Cerveza, ginebra y licor de café	< 30	Konings <i>et al.</i> (2003)
	Cerveza de malta	30-70	Friedman (2003)
	Cerveza	< 30	Tritscher (2004)



Cuadro 11. Niveles de acrilamidas en pescados, carnes, verduras y otros.

Tipo de Alimento	Concentración (µg/kg)	Fuente
Pescados		
Hamburguesa de pescado, varitas fritas, pescados ahumados	< 30	Konings <i>et al.</i> (2003)
Derivados de pescado	30-39	Friedman (2003)
Pescado, productos de la pesca y mariscos empanizados o rebozados	35	Tritscher (2004)
Carnes		
Hamburguesas, nuggets de pollo, pollo asado, salchichas ahumadas	< 30	Friedman (2003)
Carnes y productos derivados de pollo	30-64	Friedman (2003)
Carnes blancas, animales de caza, empanizados o rebozados	52	Tritscher (2004)
Verduras		
Espárragos asados	143	Friedman (2003)
Verduras asadas	107	Senyuva y Gibkmen (2005b)
Verduras, fritas congeladas, frescas o en conserva y zumos	ND-83	NTP-CERHR (2005)
Otros		
Comida para bebés	7.8	Konings <i>et al.</i> (2003)
	149	Senyuva y Gibkmen (2005b)
Comidas infantiles basadas en patatas	37-121	NTP-CERHR (2005)



Cuadro 12. Niveles de acrilamida en panes y pastelería, cereales y frutos secos.

Tipo de Alimento	Concentración (µg/kg)	Fuente
Panes y pastelería		
Pan blanco	50 pg/kg	Tritscher (2004); Rudén (2004)
	108	Senyuva y Gibkmen (2005b)
	15	SNT (2002)
Productos de panadería	112	OMS (2002)
	70-430	Friedman (2003)
Panes y productos de panadería	Sin tostar	ND- 130
	Tostados	13- 364
Tostadas de pan	1072	Senyuva y Gibkmen (2005b)
	26-647	NTP-CERHR (2005)
	183	Konings <i>et al.</i> (2003)
Tostadas multicereales	96-1270	Croft <i>et al.</i> (2004)
Bizcochos, galletas y rodajas de pan	423	OMS (2002)
Galletas	110-283	Konings <i>et al.</i> (2003)
	36-432	NTP-CERHR (2005)
Galletas infantiles	258	Croft <i>et al.</i> (2004)
	20-267	NTP-CERHR (2005)
Donas, magdalenas, pastel de chocolate y de futas	< 25	Croft <i>et al.</i> (2004)
Cereales y derivados		
Copos de maíz	160	SNT (2002)
	218	OMS (2002)



Cuadro 12. Niveles de acrilamida en panes y pastelería, cereales y frutos secos
(Continuación).

Tipo de Alimento		Concentración (µg/kg)	Fuente
Muesli		25-58	Croft <i>et al.</i> (2004)
		25	SNT (2002)
		31	
Cereales para desayuno		<30	Konings <i>et al.</i> (2003)
		30-1346	Friedman (2003)
		<25-179	Croft <i>et al.</i> (2004)
		298	Tritscher (2004)
		112	Senyuva y Gibkmen (2005b)
Cereales infantiles		ND<10	NTP-CERHR (2005)
		<25	Croft <i>et al.</i> (2004)
Cereales		11-1057	
Arroz	Sin freír	ND	NTP-CERHR (2005)
	Frito	14-34	
Pastas y arroces		< 25	Croft <i>et al.</i> (2004)
Pizza		40	SNT (2002)
Pizza con queso y tomate		< 30	Konings <i>et al.</i> (2003)
Productos rebozados		36	OMS (2002)
Frutos secos			
Cacahuates, mantequilla de cacahuete, judías y otras semillas		ND-457	NTP-CERHR (2005)



Cuadro 12. Niveles de acrilamida en panes y pastelería, cereales y frutos secos
(Continuación).

Tipo de Alimento	Concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Fuente
Cacahuete, mantequilla de cacahuete	64-457	Friedman (2003)
Almendras	Crudas	ND
	Tostadas (130°C, 22.5min)	79
	Tostadas (180°C, 22min).	1718
Soja tostada	25	Friedman (2003)
Pipas de girasol pintada	66	

En 1985 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), reportó valores de dosis letal 50 (DL_{50}) oral entre 159 a 300 mg/kg (EPA, 1994). Mientras que en el mismo año, la OMS estableció la Ingesta Diaria Tolerable (IDT), siendo esta de 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal al día, basada en la neurotoxicidad aparecida en ratas hembras y machos, expuestas a dosis repetidas. A nivel mundial, se considera que la ingesta media de la población adulta ronda los 0,3-0,8 g/Kg de peso corporal/día (OMS, 2002). El comité mixto de expertos en aditivos alimentarios de la FAO/OMS (JECFA por sus siglas en inglés), estimaron que la ingesta media en la dieta de la población en general, incluyendo niños, se encuentra entre 1 a 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal al día (FAO/WHO, 2011). Los alimentos parecen contribuir en una proporción significativa en la exposición total. La papa y los productos de ésta, como papas fritas y otras cocidas a temperatura elevada, aportan gran parte de las ingestas totales medias de acrilamida, particularmente cuando se consideran en conjunto. Sin embargo, otros grupos alimentarios con menor concentración de acrilamida pero que se caracterizan por mayores tasas de consumo diario (pan, pan tostado) y otros alimentos de los que no se conocen en la actualidad los niveles de acrilamida, también pueden contribuir a las ingestas totales, variando en magnitud entre los países o poblaciones de estudio (Moreno *et al.*, 2007).



1.14.3. Toxocinética y toxodinámica

La acrilamida se absorbe por todas las vías de exposición, siendo la vía oral la más rápida. Después de la ingestión, la acrilamida se absorbe rápidamente y se distribuye en todo el cuerpo, tanto en animales como en seres humanos. Se puede encontrar en muchos órganos como el timo, hígado, corazón, cerebro, riñones, así como en la placenta humana y la leche materna, por lo que puede ser fácilmente transferible a los fetos o recién nacidos (Capuano y Fogliano, 2011).

El metabolismo de la acrilamida se ha investigado a fondo por medio de estudios toxicocinéticos en los seres humanos, ratas y ratones. Una visión general de las principales rutas metabólicas de acrilamida se da en la Figura 13 .

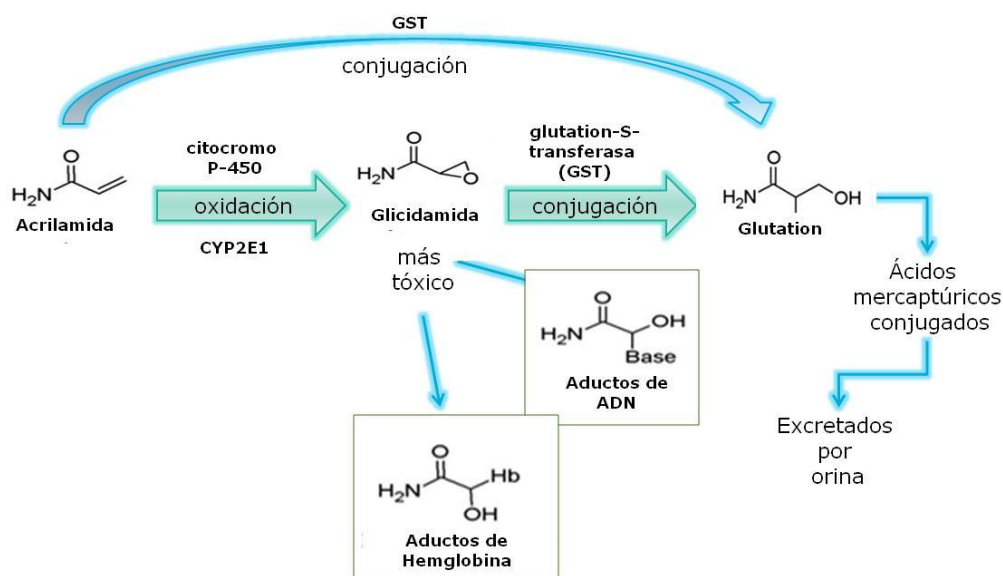


Figura 13. Metabolismo de acrilamida

Fuente: Capuano y Fogliano (2011).

La acrilamida puede ser oxidada por el citocromo P450 en el epóxido glicidamida (2,3-epoxipropionamida) o conjugado con el glutatión por acción de la glutatión-S-transferasa (GST). Se ha demostrado tanto en estudios *in vitro* como *in vivo* que la enzima oxidoreductasa "CYP2E1" está involucrada en la conversión de acrilamida a glicidamida en humanos. Tanto la acrilamida como la glicidamida pueden unirse a la hemoglobina, proteínas, ADN y enzimas. La glicidamida es más reactiva frente al ADN y las proteínas



que el compuesto original, la acrilamida. Sin embargo, la formación de este compuesto epóxido (glicidamida) parece ser menos tóxico en los seres humanos que en los roedores. Se ha estimado que, a dosis equimolares de acrilamida, la exposición humana a la glicidamida es de 2-4 veces menor que en los roedores. La glicidamida se convierte después en ácidos mercaptúricos conjugados, S-(3-amino-3-oxopropil) cisteína, N-acetil-S-(3-amino-3-oxopropil)-cisteína, N-acetil-S-(3-amino-3-oxopropil)-cisteína-S-óxido, N-(R, S)-acetil-S-(3-amino-2-hidroxiethyl-3-oxopropil) cisteína, y S-N-acetil-(1-carbamoil-2-hidroxiethyl) cisteína que se excretan con la orina (Capuano y Fogliano, 2011).

1.14.4. Efectos tóxicos en la salud

Algunos de los efectos toxicológicos que se le han atribuido a la ingesta de las acrilamidas son:

Neurotoxicidad: La naturaleza hidrofílica de la acrilamida sugiere la posibilidad de formación de aductos neurotóxicos con grupos nucleofílicos, como los que posee la guanina o los grupos sulfhidrilos. En animales expuestos a dosis repetidas de acrilamida, se ha observado daño en los nervios periféricos (neuropatía periférica) (Otlés, 2004), actuando directamente sobre la neurona, provocando su degeneración e incluso su muerte. Los mecanismos propuestos para su acción neurotóxica, son la inhibición del transporte quinésico axonal rápido, por fusión de las membranas afectadas y la inhibición de la neurotransmisión por acción directa sobre el nervio terminal (LoPachin, 2004; Friedman, 2003). Las alteraciones provocadas serían sensoriales, motoras y alteraciones en la capacidad de aprendizaje. Sin embargo, recientemente, se ha postulado que la neurotoxicidad de la acrilamida podría ser acumulativa y por tanto que la exposición dietética podría no ser insignificante (Capuano y Fogliano, 2011).

Toxicidad en la reproducción: A dosis elevadas se detecta daño en los testículos (atrofia), afectando en forma adversa a la fertilidad. En estudios llevados a cabo en ratas y ratones se confirmó que la acrilamida es un tóxico que afecta al desarrollo. El estudio se realizó con hembras en estado de gestación alimentadas con alimentos ricos en acrilamida y con animales tratados a lo largo del embarazo y el período de lactancia (NTP-CERHR, 2005).



Efectos carcinogénicos: Se ha comprobado que la acrilamida es carcinogénica en ratas de laboratorio. Se observa la presencia de tumores en tiroides, testículos, glándulas adrenales y mamarías tras exposición a dosis de 2mg/kg administrada en el agua de beber (Rudén, 2004). También puede producir tumores en cerebro, médula espinal y otros tejidos. Estudios epidemiológicos con trabajadores expuestos a acrilamida, no han demostrado riesgos excesivos de cáncer estadísticamente significativos, con la única excepción de cáncer de páncreas, para el cual se halló una duplicación del riesgo en los trabajadores más expuestos (OMS, 2002). Un estudio posterior, realizado en Suecia (Mucci *et al.*, 2003) no relaciono el consumo de acrilamida con distintos casos de cáncer de riñón, de intestino o vejiga.

Efectos genotóxicos: La acrilamida es genotóxica “in vivo” en las células somáticas y en las células germinales humanas; tiene potencial para inducir daño hereditario a nivel genético y cromosómico (OMS, 2002). En estudios llevados a cabo en células humanas (células normales del epitelio bronquial), de ratón (fibroblastos embrionales) y en linfocitos humanos expuestos a acrilamida, se observó que provoca efectos adversos en el ADN de células normales, modificando las bases nitrogenadas y generando apoptosis. La acrilamida también puede impedir la reparación del ADN, aunque su metabolito, la glicidamida, puede ejercer estos efectos genotóxicos (Moreno *et al.*, 2007).

La formación de aductos con el ADN y su consecuente mutagénesis se ha postulado como el proceso clave en la carcinogenicidad de la acrilamida, aunque la cadena de acontecimientos a partir de los aductos con ADN formados a partir de la glicidamida no ha sido investigado directamente.

Los mecanismos no genotóxicos para la carcinogenicidad de la acrilamida se han propuesto también, en donde se sugiere que la conjugación con glutatión llevaría a un agotamiento del almacén del mismo aumentando el estrés oxidativo celular y afectando la expresión génica (Capuano y Fogliano, 2011).

Efectos hormonales en el sistema endocrino de ratas (tiroides) y glándulas mamarías se han postulado también para la carcinogenicidad de la acrilamida (OMS, 2002). Aunque no es posible, hasta la fecha, llegar a la conclusión de que todos los tumores inducidos por la acrilamida son atribuibles a un mecanismo genotóxico, tampoco hay pruebas



convincentes de mecanismos no genotóxicos de este compuesto. Los resultados reportados por el Centro Nacional de Investigación Toxicológica (NCTR) de la acrilamida y su metabolito mutagénico, la glicidamida, apoyan con firmeza "el papel crucial de la glicidamida como el mecanismo directo de acción para la capacidad de causar tumores de la acrilamida" (NCTR, 2008).

Debido a que es crucial la enzima oxidoreductasa "CYP2E1" para la activación metabólica de acrilamida a glicidamida y ya que ésta es expresada en los seres humanos, existe cierta preocupación acerca de un aumento de riesgo de cáncer después de exposición a la acrilamida para los infantes (Capuano y Fogliano, 2011).

1.15. Normatividad en papas

○ NMX-FF-022-SCFI-2002. Productos Alimenticios No Industrializados Para Uso Humano Tubérculo - Papa (*Solanum Tuberosum*, L) – Especificaciones Y Método De Prueba. Norma Mexicana.

Esta Norma Mexicana establece las características de calidad que debe cumplir la papa en fresco (*Solanum tuberosum* L.) en sus distintas variedades destinadas al consumo humano. Clasifica a la papa de acuerdo a sus especificaciones en tres grados de calidad en orden descendente (México Extra, México No. 1 y México No. 2). Establece las especificaciones sensoriales, físicas, de defectos y de presentación y sus tolerancias. También establece como se debe llevar a cabo el muestreo y toma de muestras, los métodos de prueba, el marcado, etiquetado, envase y embalaje de las papas.

○ Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Alimentos y Bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Esta Norma Oficial Mexicana, de observancia obligatoria en el Territorio Nacional para las personas físicas o morales que se dedican a su proceso o importación, establece las especificaciones nutrimentales que deben observar los alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición; los alimentos envasados y a base de cereales para lactantes y niños con adición de nutrimentos. En donde señala las porciones de los



alimentos y bebidas no alcohólicas dentro de donde entran las botanas como palomitas de maíz, pretzels, botanas extruidas y papas fritas; especificando que es sin fines de etiquetado.

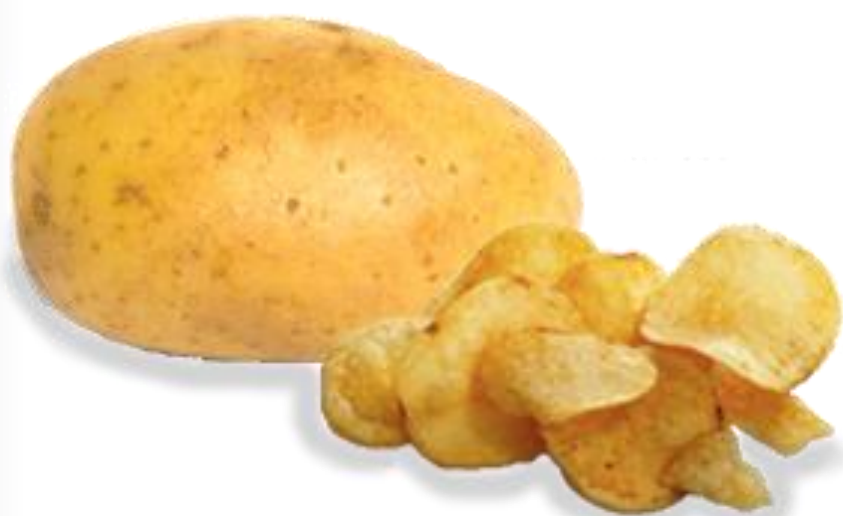
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SCFI-1993. Productos preenvasados-contenido neto tolerancias y métodos de verificación.

Esta Norma establece las tolerancias y los métodos para la verificación de los contenidos netos de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen. A su vez, abarca los productos constituidos por masas unitarias de tamaño significativo, tales como piezas o semillas cuya masa unitaria máxima tenga un valor igual o mayor a la tolerancia que corresponde al contenido neto indicado en el envase dentro de donde entran las papas fritas, chicharrones, y otras botanas.

- Codex Alimentarius Commission, 2009. (CAC/RCP 67-2009). Código de prácticas para la reducción de acrilamida en alimentos.

Este Código de prácticas tiene como finalidad proporcionar a las autoridades nacionales y locales, fabricantes y otros organismos pertinentes, orientación para prevenir y reducir la formación de acrilamida en los productos de papa y cereales. Esta orientación comprende tres estrategias (cuando se dispone de información) para reducir la formación de acrilamida en determinados productos: Materias primas; control / adición de otros ingredientes, y procesamiento y calentamiento de alimentos.

OBJETIVOS



**2. OBJETIVOS****OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento en papa (*Solanum tuberosum*) comercializada en bodegas de la Central de Abastos de la Ciudad de México, sobre los parámetros de calidad así como su relación con la inocuidad del producto procesado.

Objetivo particular 1

Determinar el efecto de las condiciones de almacenamiento en dos bodegas de la Central de Abastos sobre el porcentaje de azúcares reductores, el contenido de almidón y la gravedad específica en papas, que permita establecer su calidad.

Objetivo particular 2

Determinar el efecto de la variedad („Atlantic“ y „Fianna“) sobre el porcentaje de azúcares reductores, el contenido de almidón y la gravedad específica en papas para establecer su calidad.

Objetivo particular 3

Evaluar el efecto de las temperaturas de almacenamiento de papa fresca sobre el porcentaje de azúcares reductores, el contenido de almidón, los sólidos totales y la gravedad específica en papas para establecer su calidad.

Objetivo Particular 4

Establecer la relación entre las temperaturas de almacenamiento de papas frescas con el contenido de grasa; color y propiedades sensoriales del producto procesado.

Objetivo particular 5

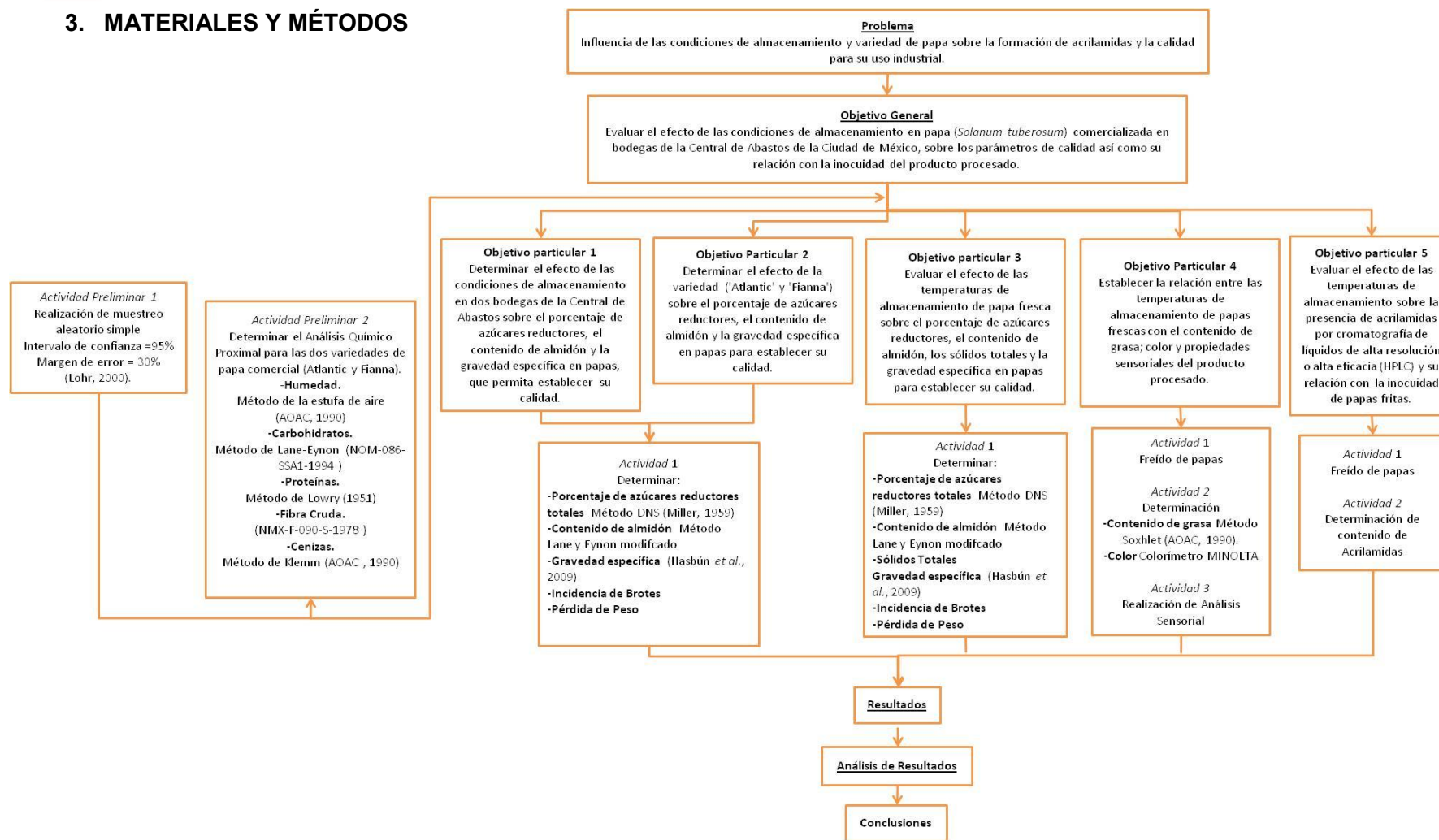
Evaluar el efecto de las temperaturas de almacenamiento sobre la presencia de acrilamidas por cromatografía de líquidos de alta resolución o alta eficacia (HPLC) y su relación con la inocuidad de papas fritas.

MATERIALES Y MÉTODOS





3. MATERIALES Y MÉTODOS





3.1. Material biológico

Los tubérculos de papa de la variedad „Fianna“ (Figura 14) y „Atlantic“ (Figura 15) se adquirieron en tres bodegas distintas de la Central de Abastos del Distrito Federal; estas fueron la bodega R-126, R-136 y R-140. De la bodega R-126 se seleccionaron papas de la variedad „Fianna“ (1F) y „Atlantic“ (1A), procedentes de Los Mochis, Sinaloa; de la bodega R-136 papas de la variedad „Fianna“ (2F) de Los Mochis, Sinaloa y de la bodega R-140 sólo se tomaron papas de la variedad „Atlantic“ (3A) de Chihuahua, Chihuahua.



Figura 14. Papas variedad „Fianna“ procedentes de la Bodega R-126 (a) y R-136 (b) de la Central de Abastos de la Ciudad de México.

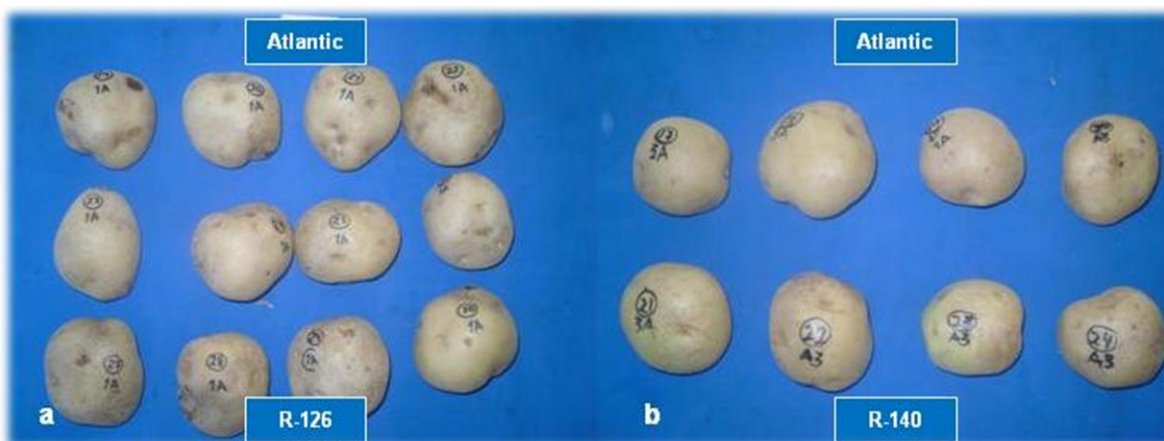








Figura 15. Papas variedad „Atlantic“ procedentes de la Bodega R-126 (a) y R-140 (b) de la Central de Abastos de la Ciudad de México.



3.2. Selección de bodegas de la Central de Abastos

Las papas fueron seleccionadas de tres bodegas de la Central de Abastos del Distrito Federal; estas fueron: R-126, R-136 y R-140. Todas estas poseían 15 días de almacenamiento en bodega desde su recepción. Las características de almacenamiento son descritas en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Bodegas de la Central de Abastos del Distrito Federal.

Bodega	Exterior	Interior	Condiciones de almacenamiento
R-126			Estibas de 12-15 Ausentes de luz
R-136			Estibas de 20-22 Ausentes de luz
R-140			Estibas de 15 Ausentes de luz



3.3. Determinación del tamaño de la muestra

Para realizar el presente estudio se llevó a cabo un muestreo aleatorio simple y para establecer el tamaño de la muestra se tomó en cuenta la cantidad de papas que llegan a cada una de las bodegas seleccionadas por día.

La siguiente ecuación se utilizó para el cálculo del tamaño de muestra (Lohr, 2000):

$$n_0 = (1.96)^2 \left(\frac{S^2}{e^2} \right)$$

Donde:

n_0 = tamaño de la muestra para una muestra aleatoria simple con reemplazo

S = la varianza

e = margen de error

Para poblaciones grandes $S^2 \approx P(1 - P)$ y alcanza su valor máximo cuando $p=1/2$ por lo que:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 \left(\frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{1}{2} \right)}{e^2} n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Se seleccionó un intervalo de confianza del 95%, un margen de error del 30% y un $N = 58.3$ kg/día, obteniendo un tamaño de muestra de 10 kg de papa para cada variedad.

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 \left(\frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{1}{2} \right)}{(0.30)^2} = 10.67 \approx 11$$

$$n = \frac{11}{1 + \frac{11}{58.3}} = 9.25 \approx 10 \text{ kg}$$



3.4. Efecto de la variedad y bodega de procedencia

3.4.1. Condiciones de muestreo

El muestreo se realizó a la recepción de las muestras (punto inicial) y cada 10 días durante un periodo de 30 días, determinando el porcentaje de pérdida de peso, incidencia a la formación de brotes, contenido de almidón, azúcares reductores y gravedad específica por las técnicas descritas en el apartado 3.7.2.

3.4.2. Condiciones de almacenamiento

Las papas se separaron en tres lotes (lote testigo, lote control y lote de daño) de 30 papas cada uno, que se almacenaron a tres diferentes condiciones de temperatura: el lote testigo a temperatura ambiente, (condición a la que comúnmente se encuentran almacenadas en las centrales de abastos); el lote control a 12°C, temperatura promedio recomendada para almacenamiento en frío; y el lote de daño a 4°C (temperatura se presenta la degradación de almidón de las papas) todos estos bajo condiciones ausentes de luz.

3.5. Efecto de las temperaturas de almacenamiento

3.5.1. Condiciones de muestreo

El muestreo se realizó a la recepción de las muestras (punto inicial) y cada 15 días durante un periodo de 30 días determinando así los sólidos totales, el contenido de almidón, gravedad específica, y azúcares reductores, por las técnicas descritas en el apartado 3.7.2.

3.5.2. Condiciones de almacenamiento

Las papas fueron únicamente separadas en dos lotes (lote testigo y lote de daño) de 60 papas cada uno. Estas fueron almacenadas bajo dos condiciones; temperatura ambiente y $T < 4^{\circ}\text{C}$, ambas bajo condiciones ausentes de luz.



3.6. Efecto de las condiciones de almacenamiento en papas fritas.

Para evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento en el procesamiento de las papas, una vez terminado el periodo, se elaboraron papas fritas tipo “chips”, las cuales fueron posteriormente evaluadas. Se determinaron color, contenido de grasa y se realizó un análisis sensorial de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 3.7.3.

3.6.1. Elaboración de papas fritas

Las papas fritas tipo “chips” se elaboraron según el proceso descrito por Tirilly y Bourgeois (2002) como se muestra en la Figura 16.

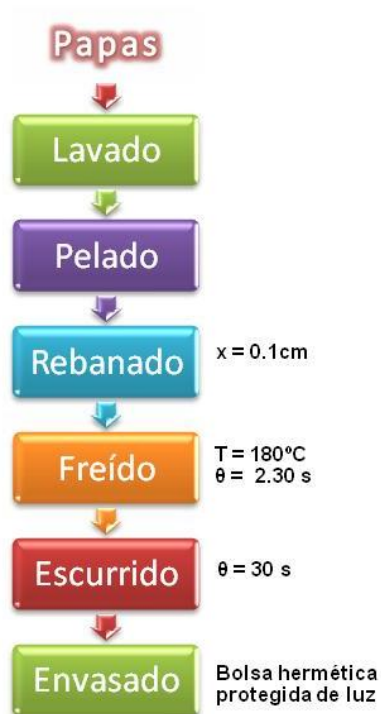


Figura 16. Proceso de elaboración de papas fritas.

Fuente: Tirilly y Bourgeois (2002).



3.6.2. Descripción del proceso

1. Lavado: Las papas fueron lavadas con agua y jabón para eliminar cualquier tipo de suciedad presente en las mismas.
2. Pelado: Se pelaron con un pelador manual para eliminar toda la cáscara de las papas (Figura 17).



Figura 17. Pelado de papas.

3. Rebanado: Se rebanaron empleando una rebanadora manual obteniéndose hojuelas de papas de 1mm de espesor (Figura 18).



Figura 18. Rebanado de papas.



4. Freído: El freído se llevó a cabo a temperatura de 180°C por un tiempo de 2.30 s en una freidora (marca MOULINEX® modelo uno), utilizando aceite vegetal (Figura 19).



Figura 19. Freidora marca Moulinex modelo UNO.

5. Escurrido: Después del freído las papas fritas se escurrían en la canastilla de la freidora durante 30s y posteriormente se colocaron sobre toallas de papel para absorber el aceite en exceso durante un 1 minuto.
6. Envasado: Las papas fritas fueron almacenadas en bolsas herméticas forradas con papel aluminio para protegerlas de la luz.



3.7. Técnicas analíticas

3.7.1. Análisis químico proximal

Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó a partir del método gravimétrico de la estufa de aire (AOAC, 1990). El fundamento se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta peso constante en un horno por convección con aire forzado (marca Quincy Lab AF modelo 40). Los resultados se expresan en porcentaje de humedad.

Determinación de azúcares reductores

Los azúcares reductores se determinaron a partir del método descrito por Miller (1959) usando el 3,5 ácido dinitrosalicílico (DNS). El método se fundamenta en la oxidación del grupo funcional aldehído (glucosa) o cetona (fructosa) que presenta el azúcar reductor. Simultáneamente el ácido 3,5 dinitrosalicílico es reducido a un compuesto nitroaminado colorido de pardo oscuro a marrón según la concentración de los azúcares (3-amino, 5-ácido nitrosalicílico), cuya intensidad de color se midió en un espectrofotómetro (marca TERMO ESPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV) a una longitud de onda de 540 nm (Figura 20). El porcentaje de azúcares reductores se calculó a partir de la absorbancia de la muestra. Los resultados se expresan en porcentaje de azúcares reductores.



Figura 20. Espectrofotómetro.



Determinación de proteínas

El contenido de proteínas se determinó por el método de Lowry *et al.* (1951), este es un método colorimétrico de valoración cuantitativa de las proteínas. A la muestra se añade el reactivo Folin, el cual forma un complejo coloreado con las proteínas, y se fundamenta en la unión de los enlaces peptídicos de las proteínas con el cobre y que en conjunto con el reactivo Folin, da la formación del color azul característico y en donde la intensidad del color será proporcional a la concentración de proteínas. Este color se detectó a longitud de onda de 750 nm en un espectrofotómetro (marca TERMO ESPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV) y se determinó la absorbancia según la ley de Lambert-Beer. La proteína albúmina fue utilizada como solución estándar para el método. El porcentaje de proteína es calculado a partir de la densidad óptica (absorbancia) de la muestra y los resultados se expresan como porcentaje de proteínas.

Determinación de cenizas

Las cenizas se determinaron a partir del método de Klemm (AOAC, 1990). La muestra se incineró a 550°C en un horno por convección con aire forzado (marca Quincy Lab AF modelo 40). Se fundamenta en la incineración de toda la materia orgánica para la obtención de un residuo inorgánico no volátil que corresponde a los minerales (cenizas) de la muestra. El resultado se expresa en porcentaje de cenizas.

Determinación de fibra cruda

La Fibra cruda se determinó de acuerdo con la norma mexicana (NMX-F-090-S-1978). Se fundamenta en la digestión ácida y alcalina de la muestra con lo que se obtiene un residuo de fibra y sales que con calcinación posterior se determina el porcentaje de fibra cruda. El resultado se expresa en porcentaje



3.7.2. Parámetros de calidad de papas en fresco

Pérdida de peso

Diariamente se registró el peso de todos los tubérculos de cada lote en una balanza analítica (marca Scout Pro SP601) como se muestra en la Figura 21. Se calculó el porcentaje de pérdida de peso mediante la diferencia entre los pesos al final e inicio del almacenamiento. Los resultados se expresan en porcentaje.



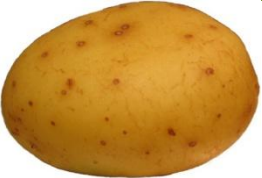

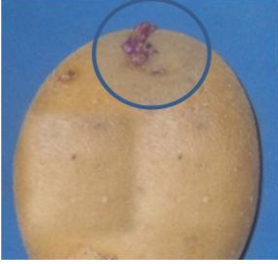

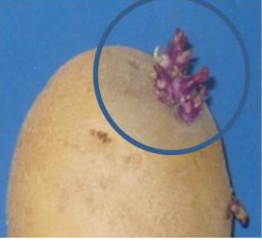
Figura 21. Registro de pérdida de peso.



Incidencia de Brotes

Diariamente se evaluó el aumento en la incidencia de brotes por medio de una escala visual subjetiva del 1-5, en donde cada valor representaba un porcentaje de brotes del tubérculo (Cuadro 14).

Cuadro 14. Escala de brotes.

Escala de Brotes	Porcentaje	Apariencia
1	0%	
2	1-25%	
3	26-50%	
4	51-75%	
5	76-100%	



La incidencia de brotes se calculó multiplicando la sumatoria del número de muestras que presentaba cada nivel, por el nivel de brotes y dividiéndolo entre el número total de muestras.

$$\text{Incidencia de brotes} = \frac{\sum n \times EB}{P}$$

Donde:

n= número de papas por escala de brotes

EB= escala de brotes

P= número total de papas

➤ **Sólidos totales**

La determinación se realizó mediante la pérdida de humedad por secado a 80°C hasta peso constante en un horno por convección con aire forzado (marca Quincy Lab AF modelo 40) según lo descrito por Hasbún *et al.* (2009), se expresó como porcentaje de sólidos totales (Figura 22).



Figura 22. Horno convectivo con aire forzado.



Azúcares reductores

Los azúcares reductores se determinaron a partir del método descrito por Miller (1959) usando el 3,5 ácido dinitrosalicílico (DNS). El método se describió en el apartado de técnicas analíticas. El porcentaje de azúcares reductores se calculó a partir de la absorbancia de la muestra.

Contenido de almidón

El contenido de almidón se llevó a cabo a partir de un método modificado de Lane-Eynon (NOM-086-SSA1-1994) para la determinación de azúcares reductores. Se pesaron 10 g de muestra y se homogeneizó en un mortero, se le adicionaron 32 ml de agua destilada y se le agregaron 7.5 ml de ácido clorhídrico concentrado. La muestra se llevó a una autoclave a temperatura de 120°C por 10 min. Posteriormente la muestra se neutralizó con NaOH al 10%, se filtró y aforó a 100 ml con agua destilada. Finalmente se titularon las soluciones Fehling con las muestras (Figura 23). Los resultados se expresaron como porcentaje de almidón.



Figura 23. Titulación de soluciones Fehling.

Gravedad específica

La determinación se realizó a partir de la densidad de la papa con respecto a la del agua, y se seleccionaron 3 papas de tamaño y/o peso semejante. La densidad del tubérculo se calculó a partir de la relación masa-volumen. El tubérculo se sumergió en una probeta con un volumen definido de agua y el desplazado correspondió al volumen del tubérculo



(Hasbún, *et al.*, 2009). El método se fundamenta en el principio de Arquímedes en donde todo objeto sólido sumergido en un fluido desplaza su masa en volumen de agua (Figura 24). Los resultados se expresaron como gravedad específica con respecto a la del agua.

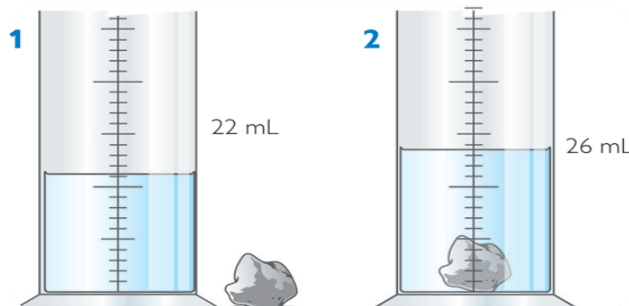


Figura 24. Principio de Arquímedes.

3.7.3. Parámetros calidad de papas fritas

Color

El color se evaluó con ayuda de un colorímetro, el cual utiliza una fuente de luz para iluminar la muestra a medir. La luz reflejada fuera del objeto pasa a través de unos filtros rojo, verde y azul para simular las funciones del ojo para una luz en particular. Un fotodetector ubicado más allá de cada filtro, detecta la cantidad de luz que pasa a través de los filtros. Estas señales por último se muestran como valores X, Y, Z ó L, a, b. Los parámetros de Luminosidad (L) y Tonalidad ($^{\circ}h$) se evaluaron para las hojuelas de papas con un colorímetro (marca MINOLTA modelo CR300) (Figura 25). La luminosidad (L) es un valor directo y la tonalidad o el ángulo Hue (h°) se calcula con los valores de a y b ($h^{\circ} = \arctan b/a$).



Figura 25. Colorímetro marca MINOLTA.



Contenido de grasa

El contenido de grasa se determinó a partir del método de Soxhlet (AOAC, 1990) para la determinación de extracto etéreo (Figura 26). El método se fundamenta en la extracción semi-continua con un disolvente orgánico. Los resultados se expresan en porcentaje de grasa.

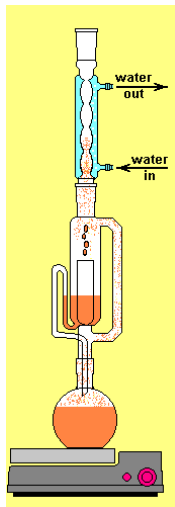


Figura 26. Extracción de grasa por Soxhlet.

Análisis sensorial

Una prueba discriminativa de comparación apareada se realizó para determinar si las dos condiciones de almacenamiento presentaban diferencia en cuanto a los parámetros de dulzor, color, textura y contenido de grasa; para lo cual se contó con un panel de 26 jueces no entrenados (Carpenter, 2000; Pedrero y Daniel, 1989).

El análisis de datos se determinó con un nivel de significancia de 0.05. Los datos obtenidos de la prueba se ordenan según el número de respuestas correctas que cada juez obtuvo, de acuerdo con el número de veces que repitió cada análisis, en éste caso sólo se llevó a cabo una repetición. La probabilidad de escoger la respuesta correcta (P) se calculó, si el total de respuestas correctas excede del 50%, se puede concluir que las muestras son diferentes entre sí (Cuadro 15).



Cuadro 15. Número de respuestas correctas por cada juez.

Juez	Número de respuestas correctas
1	4*
2	2
3	4
4	3
.	.
.	.
.	.
N	

*Cada respuesta correcta equivale a 1; cada respuesta incorrecta a 0.

$$P = \frac{\sum 100}{N} \quad N = (n)(r)$$

Donde:

n = Total de jueces

r = Número de repeticiones

N = Total de juicios

Determinación de acrilamidas

Los niveles de acrilamidas fueron determinados para las papas fritas “chips”, al inicio y al final del almacenamiento, para las dos bodegas de procedencia (R-126 y R-136) y temperaturas de almacenamiento (Temperatura ambiente y 4°C). El nivel de acrilamida en las papas fritas “chips” se determinó mediante la inyección de una solución acuosa de cada muestra para su análisis por cromatografía líquida de alta resolución o alta eficacia (HPLC), utilizando una columna de ion exclusión y un detector de UV. Los acrilamidas se extraen con agua y los extractos acuosos se analizan por HPLC. La confirmación de la identidad de la acrilamida se establece por medio de inversión de fase HPLC, utilizando una columna de polaridad diferente.



➤ **Reactivos**

- Acrilamida (marca Sigma) Pureza superior al 99%.
- Acetonitrilo (Merck) grado HPLC.
- Metanol (Merck) grado HPLC.
- Agua grado HPLC.
- Ácido sulfúrico.

➤ **Equipos**

Para el análisis se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (marca Shimadzu) equipado con un detector ultravioleta (UV), una válvula de inyección con un I25 o 50 y una columna de intercambio iónico (Dionex Ion Pac ICE-ASI) de 250 x 7,6 mm.



Figura 27. Cromatógrafo de líquidos de alta resolución.

➤ **Preparación de estándares**

- Solución madre de la acrilamida en metanol (500 g / ml).
- Solución madre diluida (10 g / ml).
- Soluciones intermedias: 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 y 4,0 g / ml de acrilamida.

Las soluciones fueron almacenadas a 4 °C durante un máximo de tres meses protegidos de la luz en el septo cubiertas viales de vidrio con espacio de cabeza mínimo.



➤ **HPLC fase móvil**

La fase móvil fue 0,05 mol / l de ácido sulfúrico a un 1 litro y se diluyó hasta 500 ml con agua. Se añadió, mediante una medición 70 ml de acetonitrilo y enraso con agua.

➤ **Preparación de la muestra**

Las muestras (10g) se homogenizaron y se adicionó 100 ml de agua. A continuación se centrifugaron y el sobrenadante se filtró y posteriormente en columna de SPE. Las muestras se almacenaron en oscuridad y a 4°C.

➤ **Condiciones cromatográficas**

- Caudal: 1,5 ml / min.
- Detector UV: 202 nm.
- Temperatura: ambiente.

Estas determinaciones fueron realizadas en el Departamento de Química Analítica de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Tratamiento estadístico de resultados

Los experimentos se realizaron por triplicado para realizar un análisis estadístico confiable y representativo. Para evaluar el efecto de la variedad („Fianna“ y „Atlantic“) y la bodega de almacenamiento (R-126, R-135, R-140) sobre las diferentes propiedades estudiadas se realizó un análisis factorial y en los casos en que se presentaba un efecto significativo de la variedad y/o bodega ($p < 0.05$), se realizó la comparación entre medias mediante un análisis de Tukey. Para lo anterior se utilizó el programa estadístico PASW® Statistics 18 para Windows. Además para establecer posibles relaciones entre los azúcares reductores, el contenido de almidón, sólidos totales y la gravedad específica se realizaron correlaciones, las cuales se definieron como el cambio sistemático que da una variable con respecto a otra, a las cuales se les aplicó un análisis estadístico de significancia (prueba t para el coeficiente de correlación r de Pearson), utilizando la fórmula $t_r = r(\sqrt{n - 2 / 1 - r^2})$ para probar la existencia de una relación entre dos variables (Ritchey, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN





4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición química de papas

A continuación en el Cuadro 16 se presenta el análisis químico proximal para las dos variedades de papa estudiada.

Cuadro 16. Composición química de papa variedad „Atlantic“ y „Fianna“.

	„Atlantic“ (%)	„Fianna“ (%)
Humedad	76.9±0.71	77.38±0.51
Proteína	0.024±0.01	0.025±0.00
Almidón	20.40±0.07	20.20±0.02
Azúcares Reductores	0.11±0.01	0.04±0.01
Fibra	1.68±0.06	1.32±0.18
Cenizas	0.24±0.04	0.43±0.08

El contenido de humedad representa el mayor porcentaje en la composición de la papa de las dos variedades; sin embargo a nivel industrial y para su procesamiento es importante conocer el contenido de sólidos totales, que en éste caso resultó de 23.1% para la variedad „Atlantic“ y de 22.62% para la variedad „Fianna“. De los carbohidratos presentes para la variedad „Atlantic“, el 0.11% correspondió a azúcares reductores y 20.40% de almidón; mientras que la variedad „Fianna“ presentó 0.04% de azúcares reductores y 20.20% de almidón. En ambos casos el contenido de azúcares reductores presente fue bajo y aceptable comparado con los trabajos de Moreno (2000) quien cita que las variedades de papas con contenidos de azúcares reductores de entre 0.21 a 2.8% no son recomendadas para la elaboración de papas fritas “chips”. CAMAGRO (2005) menciona que del 65-80% de los sólidos totales es almidón; en el presente estudio el contenido de almidón para la variedad „Atlantic“ correspondió al 88.3% de los sólidos totales y para la variedad „Fianna“ el 89.30% de los sólidos totales. El grado de variación composicional entre los tubérculos de papa ha sido relacionado al tipo, desarrollo y anatomía del tubérculo y a la parte del tejido al que se le realice el análisis (Talbur y Smith, 1987).

Ambas variedades presentaron un contenido bajo de proteínas comparado con Talbur y Smith (1987) que reportan rangos de entre 0.7-4.6% para papa blanca, éstas proteínas



poseen un valor biológico relativamente alto y son de mayor calidad dentro de los alimentos de origen vegetal según CAMAGRO (2005) y Rodríguez y Ríos (2010). Los estudios de Rodríguez y Ríos (2010) han demostrado que existen importantes variaciones entre el contenido de aminoácidos y consecuentemente en la calidad y cantidad de las proteínas de la papa en función del lugar de procedencia.

El contenido de fibra para ambas variedades resultó mayor a lo reportado por Moreiras *et al.* (2004), pero dentro del rango presentado por Talburt y Smith (1987) que fue de 0.17–3.48%. Los valores de fibra fueron superiores debido a que para la muestra no se llevó a cabo el pelado, operación que remueve cerca del 20% de la papa.

El contenido de cenizas para ambas variedades presentaron valores inferiores a los citados por Moreiras *et al.* (2004) de 1%; según lo obtenido por Johnson *et al.* (1968) citado por Talburt y William (1987) el área medular de la papa muestra menor contenido de manganeso, zinc, cobre y otros minerales.

La composición química de las papa puede variar sustancialmente, de acuerdo con la variedad, condiciones de cultivo (calidad de la semilla, tipo de suelo, fertilizantes, temperatura, humedad, luz), grado de madurez y condiciones de almacenamiento (Hasbún *et al.*, 2009).

4.2. Efecto de la variedad y de la bodega de la Central de Abastos sobre los cambios en la calidad de la papa durante su almacenamiento.

4.2.1. Pérdida de peso

La pérdida de peso de los tubérculos se debe a la respiración, la transpiración y el decaimiento por la acción de microorganismos. Estas pérdidas se ven influenciadas por las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad, poder de evaporación del aire y composición y movimiento del aire), la madurez y condición de las papas al tiempo de almacenamiento (Talburt y Smith, 1987).



En la Figura 28 se muestra la pérdida de peso de las papas variedad „Atlantic“, provenientes de las 2 bodegas de la Central de Abastos de la Ciudad de México (R-126 y R-140); así como su influencia por la temperatura de almacenamiento.

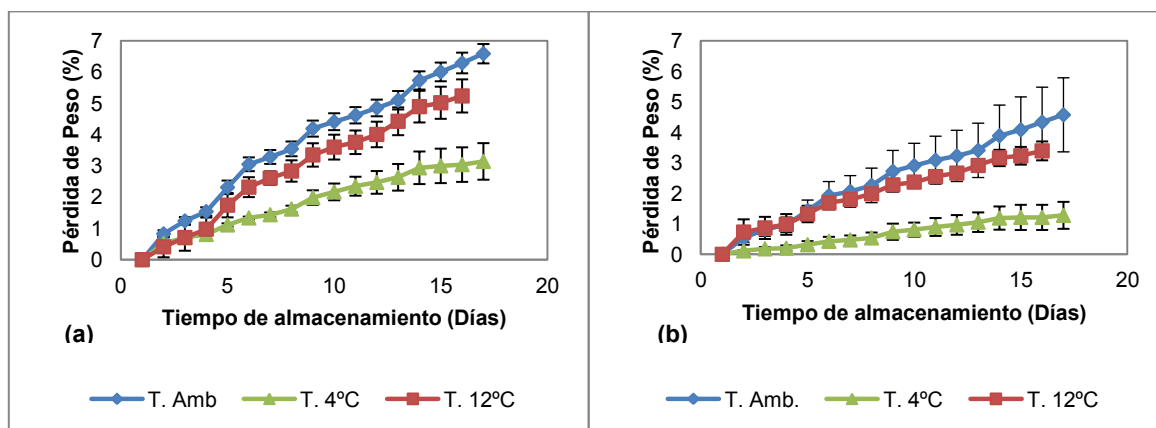


Figura 28. Porcentaje de pérdida de peso en variedad „Atlantic“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

Las papas variedad „Atlantic“ de la Bodega R-126 presentaron el valor más alto de pérdida de peso, siendo éste de 6.58% a temperatura ambiente, 5.23% a 12°C y 3.14% a 4°C (Figura 28a), mientras que las papas de la bodega R-140 presentaron un valor de 4.57% a temperatura ambiente, 3.39% a 12°C y 1.28% a 4°C (Figura 28b). La variedad „Atlantic“ de la bodega R-126, provenía del estado de Chihuahua, por lo que las condiciones de cultivo en esa región pudieron influir sobre el comportamiento postcosecha de las papas. En la Figura 28 se muestra la pérdida de peso de las papas variedad „Fianna“, provenientes de las 2 bodegas de la Central de Abastos de la Ciudad de México (R-126 y R-136); así como su influencia por la temperatura de almacenamiento. La variedad „Fianna“ procedente de cada bodega no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en ninguna de las temperaturas de almacenamiento evaluadas. Las papas almacenadas a temperatura ambiente y procedentes de la bodega R-126 (Figura 29a) presentaron 3.71 veces mayor pérdida de peso con respecto a las almacenadas a 4°C mientras que a 12°C se observó una pérdida 1.68 veces mayor que a 4°C. Las papas procedentes de la bodega R-136 (Figura 29b) presentaron 0.70 y 3.66 veces mayor pérdida de peso a 12°C y a temperatura ambiente, respectivamente con respecto a las almacenadas a 4°C.



A lo largo de los días de almacenamiento se observó un incremento notable de pérdida de peso para ambas variedades. En almacenamiento a temperatura ambiente se registró la mayor pérdida de peso y estadísticamente se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para ambas variedades y bodegas estudiadas.

Al final del almacenamiento, la variedad „Atlantic“ procedente de la bodega R-126 presentó 1.9 veces mayor porcentaje de pérdida de peso a temperatura ambiente que la variedad „Fianna“ de la misma bodega, alcanzando pérdidas máximas de 6.58% (Figura 28a) y 4.68% (Figura 29a), respectivamente. Estadísticamente esta diferencia fue significativa ($p \leq 0.05$). La pérdida de peso de las papas almacenadas a 4°C fue hasta 4.3 veces menor para la variedad „Atlantic“ y de 3.6 veces menor para la variedad „Fianna“ con respecto a las almacenadas a temperatura ambiente, sin embargo estadísticamente no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

Abeygunawardena *et al.* (2011) encontró que a pesar de que el efecto de la variedad sobre la pérdida de peso resultó ser significativa, se vio grandemente influenciada por la localidad de procedencia y condiciones de almacenamiento en bodega. A pesar de esto no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la bodega de procedencia para esta variedad.

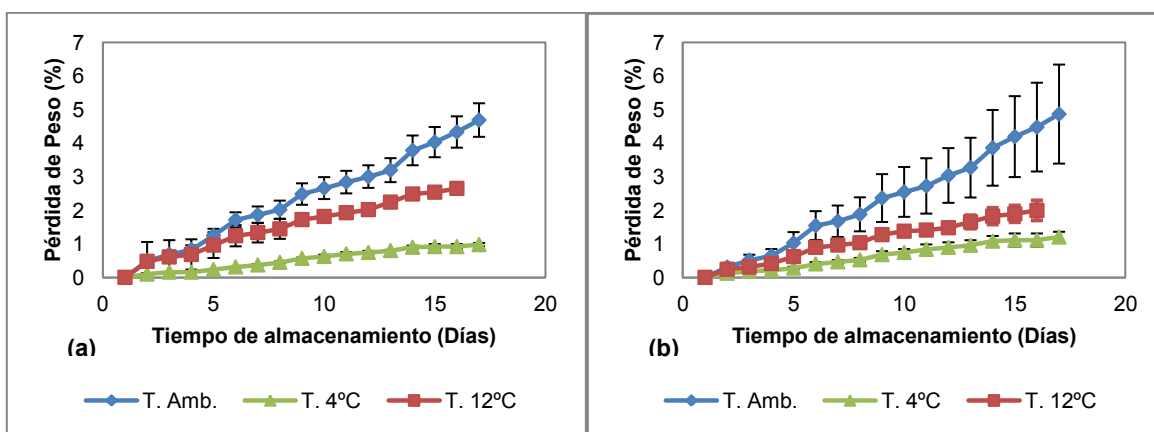


Figura 29. Porcentaje de Pérdida de Peso en variedad „Fianna“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

Estudios realizados por Barclay y McNair (1974) sobre dos variedades de papa almacenadas a las mismas condiciones, encontraron un pérdidas de peso de hasta 5.8%



para una variedad y 3.6% para la otra, mostrando relevantes fluctuaciones durante cada registro de peso para una variedad. La variedad „Fianna“ perdió 3.12 veces menos peso que la variedad „Atlantic“ a 12°C y 2.17 veces menos a temperatura de 4°C, alcanzando a ésta última temperatura una pérdida de peso del 3.14% para las papas de la bodega R-126 (Figura 29a). Según Ariyanayagam (1958) existe una marcada diferencia en cuanto a la pérdida de peso con respecto a la variedad debida a diferencias genotípicas.

La respiración de los tubérculos tiende a aumentar en aquellos que presentan daños como heridas o cortes que en los sanos, para evitar los daños por aplastamiento Moreno *et al.* (2000) aconsejan una altura de almacenamiento en bodega de 1 a 1.2 metros que corresponde a no más de 12 estibas, en el caso de las papas almacenadas en ambas bodegas el número de estibas fue mayor. Como se observa en Figura 30a, las papas variedad „Atlantic“ procedentes de la bodega R-126 presentaron mayor muestra de daños mecánicos que las de la bodega R-140 (Figura 30b) con su consecuente aumento en el porcentaje de pérdida de peso (Figura 27a).

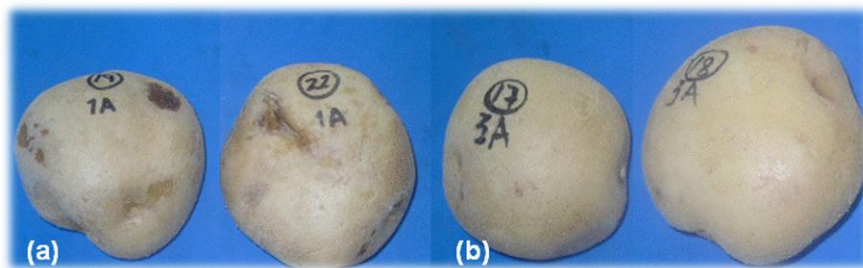


Figura 30. Daños mecánicos a la recepción de papas variedad „Atlantic“ procedentes de la bodega R-126 (a) y R-140 (b).

Por otro lado, las papas variedad „Fianna“ no presentaron daños mecánicos evidentes entre las procedentes de una bodega con respecto a la otra (Figura 31) y de igual manera no se observó una diferencia en cuanto a su porcentaje de pérdida de peso (Figura 29). Esto sugiere que en la Bodega R-126 donde se almacenaron las papas variedad „Atlantic“ no se llevó a cabo un adecuado acomodo de estibas ocasionando daños por aplastamiento.

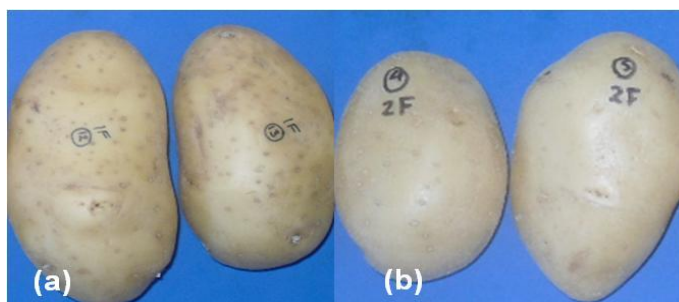


Figura 31. Daños mecánicos a la recepción de papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 (a) y R-136 (b).

4.2.2. Incidencia de brotes

En la Figura 32 se muestra la incidencia de brotes para la variedad „Atlantic“ procedentes de las Bodegas R-126 y R-140 y almacenadas a diferentes temperaturas.

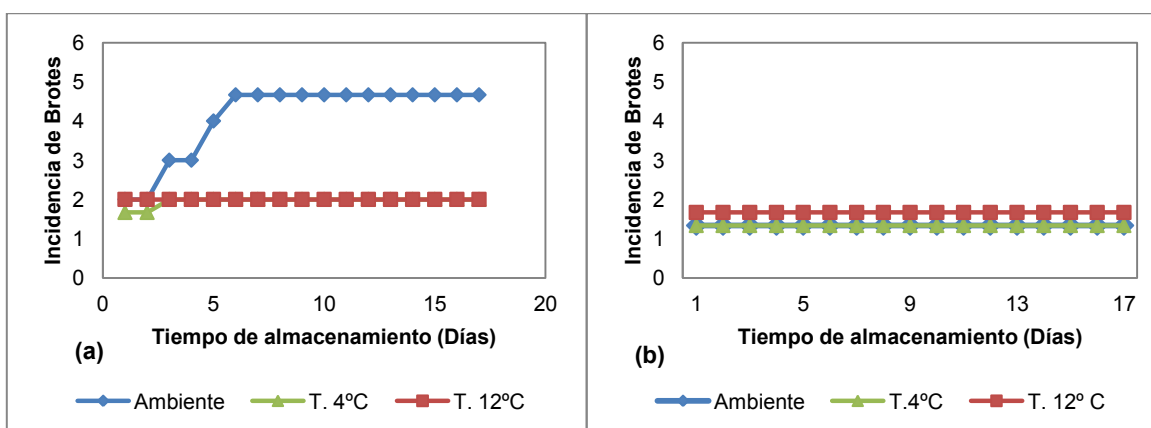


Figura 32. Incidencia de brotes en variedad „Atlantic“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

Para la variedad „Atlantic“ se presentó una incidencia 2.6 veces mayor a temperatura ambiente que a 12 y 4°C para las papas procedentes de la bodega R-126 (Figura 32a). Las procedentes de la bodega R-140 y almacenadas a temperatura ambiente y a 4°C presentaron 0.3 veces menor incidencia que las almacenadas a 12°C (Figura 32b). Se observó además una incidencia 1.3 veces mayor de las papas procedentes de la bodega R-126 con respecto a las de la bodega R-140 almacenadas temperatura ambiente y 0.7 veces mayor a 4°C.



La incidencia de brotes de las papas de la Bodega R-126 fue de 4.7 a temperatura ambiente y de 2 a 12 y 4°C, mientras que para las de la Bodega R-140 fue de 3.3 a temperatura ambiente y 1.6 a 12°C y 1.3 a 4°C. Esto puede deberse a que las papas variedad „Atlantic“ provienen de dos regiones de cultivo diferentes, siendo estas un factor importante en el comportamiento de las papas durante su posterior almacenamiento (Motes y Greig, 1970). Además las papas „Atlantic“ procedentes de la bodega R-126 presentaron más muestra de daños mecánicos que las de la bodega R-140 (Figura 30). Ryall y Lypton (1979) señalan que las papas dañadas y enfermas tienden a brotar antes que las completamente sanas, por lo que a todas las temperaturas se presentó mayor incidencia de brotes para esta variedad.

En la Figura 33 se muestra la incidencia de brotes para la variedad „Fianna“. Una incidencia a la formación de brotes se observó al final del almacenamiento de 2.7 veces mayor a temperatura ambiente que a 12 y 4°C para las papas procedentes de la bodega R-126 (Figura 33a), y 3 veces mayor para las procedentes de la bodega R-136 (Figura 33b). Las papas variedad „Fianna“ de ambas bodegas presentaron la misma incidencia a temperatura de 12 y 4°C, siendo éstas de 2.3 las procedentes de la bodega R-126 y de 2 para las de la bodega R-136 al final del almacenamiento. Para las papas variedad „Fianna“ no se observó diferencia con respecto a la bodega de procedencia.

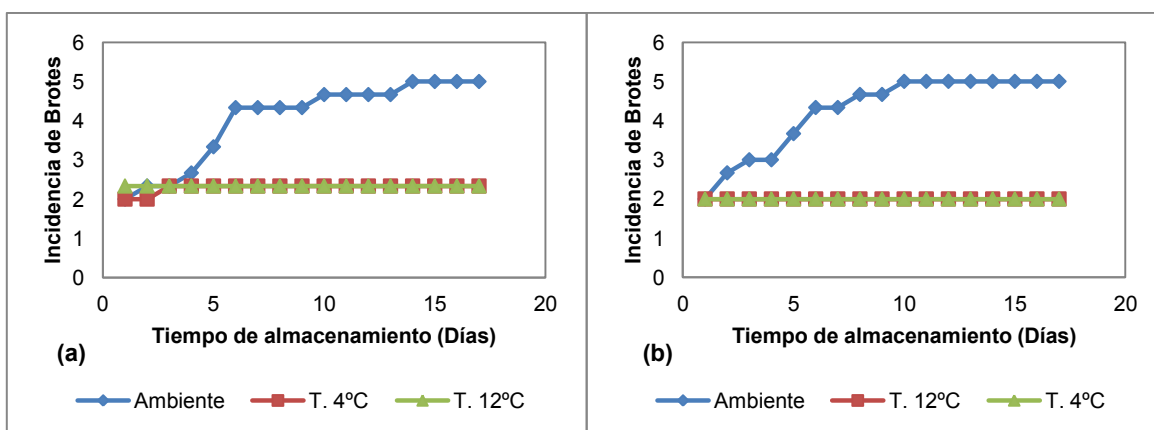


Figura 33. Incidencia de brotes en variedad „Fianna“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

Para ambas variedades la incidencia de brotes también se vio influenciada por la condición de almacenamiento. A temperatura ambiente se obtuvo mayor incidencia a la



formación de brotes que a 4 y 12°C para ambas variedades. Además se observó que a lo largo de los 30 días de almacenamiento se mantuvo la misma incidencia a la formación de brotes para las papas almacenadas a 12 y 4°C.

Abeygunawardena *et al.* (2011) mencionan que la pérdida de dormancia y los hábitos de brotamiento de las papas, está condicionado por la variedad. Como se observa en la Figura 33a, al final del periodo de almacenamiento, las papas variedad „Fianna“ de la bodega R-126 presentaron 0.4 veces mayor incidencia a la formación de brotes que la variedad „Atlantic“ a temperatura ambiente y 0.3 veces más a temperatura de 12 y 4°C. La diferencia entre una variedad y otra puede deberse simplemente a una diferencia de carácter varietal por diferencias genóticas como señala McGarry *et al.* (1996).

En la Figura 34 se muestra que los brotes de las papas variedad „Atlantic“ presentaron mayor grosor y tonalidad rosa en el inicio del brote y verde-grisásea al final, presentándose en varias partes de la superficie del tubérculo; mientras que los brotes de la variedad „Fianna“ sólo se presentaron en una sola parte de la superficie con su posterior crecimiento vertical y coloración rosada. El crecimiento de los brotes está regulado por las fitohormonas mismas del tubérculo como: auxinas, ácido abscísico, etileno, gibberelinas y citoquininas (Jaspreet y Lovedeep, 2009).



Figura 34. Incidencia de brotes al final del almacenamiento para papas variedad „Atlantic“ (a) y „Fianna“ (b) procedentes de la Bodega R-126 almacenados a temperatura ambiente.



4.2.3. Azúcares reductores y contenido de almidón

A continuación en la Figura 35 se presenta el contenido de azúcares reductores para la variedad „Atlantic“ procedente de cada una de las Bodega (R-126 y R-140) estudiadas y almacenadas a diferentes temperaturas.

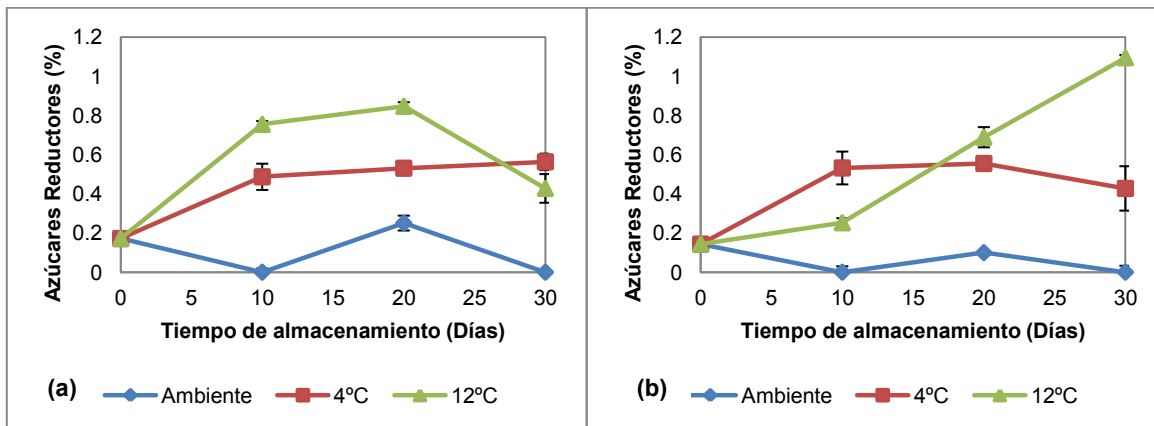


Figura 35. Azúcares reductores en papa variedad „Atlantic“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

La Figura 35a muestra que existió una diferencia mínima de 0.14 entre las papas almacenadas a 12°C y a 4°C, al final del periodo de almacenamiento, procedentes de la bodega R-126. También se observó una diferencia de 0.56% y 0.42% a 4°C y a 12°C, respectivamente con respecto a la temperatura ambiente. A pesar de esto no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) al final del almacenamiento. Sin embargo, para los días 10 y el 20 de almacenamiento si existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Como se observa en la Figura 35b, las papas procedentes de la bodega R-140 presentaron mayor contenido de azúcares reductores a 12°C, siendo éste de 1.09% al final del periodo de almacenamiento. Además existieron diferencias de 0.64 a 4°C y 1.09 a 12°C con respecto a las almacenadas a temperatura ambiente, siendo ésta diferentes significativamente ($p \leq 0.05$).

Para las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 sólo se encontró una diferencia de 0.11% entre las almacenadas a 12 y 4°C y de hasta 0.39% con respecto a las almacenadas a temperatura ambiente (Figura 36a) no siendo estadísticamente significativa ($p \geq 0.05$).



A temperatura ambiente y 4°C se esperaba que el contenido de azúcares reductores incrementará con respecto al tiempo de almacenamiento, mientras que a 12°C se esperaba un mantenimiento en los azúcares; sin embargo esto no fue observable para ninguna de las variedades estudiadas.

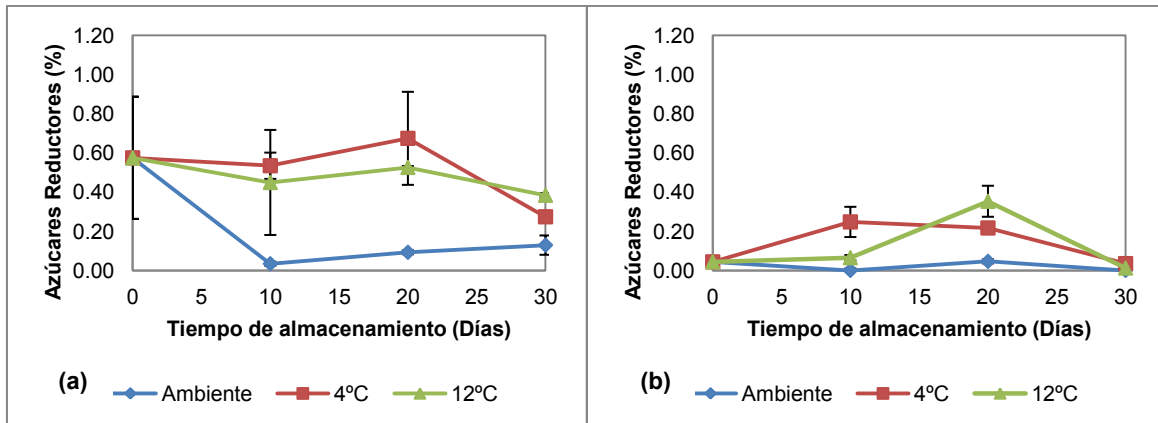


Figura 36. Azúcares reductores en papa variedad „Fianna“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres temperaturas de almacenamiento.

Talburt y Smith (1987), mencionan que la cantidad de azúcares reductores formada durante el almacenamiento a bajas temperaturas depende de las condiciones de cultivo, madurez y condiciones de pre-almacenamiento. Según Martínez y Alemán (2006), durante el almacenamiento en bodega el acomodo de las estibas es importante para asegurar la calidad del producto. Mc Garry *et al.* (1996) mencionan que la presión estática durante el almacenamiento en bodega por el acomodo de las papas, puede generar susceptibilidad a daños mecánicos y por consiguiente incidir sobre la composición de azúcares de la papa. Estadísticamente se encontró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para la variedad „Fianna“ con respecto a las papas procedentes de la bodega R-136 de almacenamiento. Para las papas variedad „Fianna“ se puede observar en la Figura 36 que las procedentes de ésta bodega presentaron un menor contenido de azúcares reductores que las procedentes de la bodega R-126, con contenidos no detectables a temperatura ambiente, 0.01% a 12°C y 0.03% a 4°C a los 30 días de almacenamiento. Stark *et al.* (2003) citan que la insuficiencia de ventilación o la obstrucción de aire por exceso de suciedad durante el almacenamiento en bodegas, ocasiona estrés en las papas, interrumpiendo su fisiología normal y aumentando los niveles de azúcar en el mismo. Esto sugiere que durante el almacenamiento en las bodegas R-126 y R-140 no se realizó un



adecuado acomodo de las papas en estibas, ocasionando obstrucción de aire y/o daños mecánicos e incidiendo en el contenido de azúcares reductores de las papas durante su posterior almacenamiento.

Según Jaspreet y Lovedeep (2009), el contenido de azúcares en papa es variable dependiendo de la variedad y el estado fisiológico de la papa. Sin embargo, en el presente estudio no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la variedad de papa estudiada, a pesar de que el contenido de azúcares reductores para la variedad „Atlantic“ fue 0.12 veces menor a temperatura ambiente, 0.15 veces mayor a 4°C y 0.71 veces mayor a 12°C que la variedad „Fianna“ para las papas procedentes de la bodega R-126. Colman *et al.* (2009) encontraron que los genotipos de diferentes variedades de papas *Solanum tuberosum* ssp. *Andigena* estudiados presentaron respuestas variables frente al almacenamiento a baja temperatura, identificándose algunos resistentes al endulzamiento inducido por frío como ocurrió en este caso para la variedad „Fianna“ (Figura 36). De igual manera, Workman *et al.* (1979) y Ewing *et al.* (1981) han encontrado que el contenido de azúcares de diferentes variedades responde diferente a las temperaturas de enfriamiento.

El contenido de azúcares reductores es el parámetro de mayor importancia durante el estudio de las condiciones de almacenamiento sobre la calidad en papa para su uso industrial. Debido a que sólo se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a las bodegas de almacenamiento para la variedad „Fianna“, en los estudios realizados posteriormente únicamente se trabajó con esta variedad procedente de las mismas bodegas de almacenamiento de la Central de abastos del Distrito Federal, por lo que los resultados presentados en el apartado 4.3 pertenecen a la variedad „Fianna“ con las bodegas R-126 y R-136 de almacenamiento.

En la figura 36 se muestra el contenido de almidón de papas variedad „Atlantic“. En el contenido de almidón se observó una ligera disminución durante los 30 días de almacenamiento, para ambas variedades de papa, a todas las temperaturas a las cuales estuvieron almacenadas. Las papas variedad „Atlantic“ procedentes de la bodega R-126 presentaron una disminución en su contenido, al final del periodo de almacenamiento, de 0.34% a 4°C y temperatura ambiente, y de 27.73% a temperatura de 12°C (Figura 37a). Las procedentes de la bodega R-140 de la misma variedad presentaron una disminución al



final del almacenamiento de 0.11% (Figura 37b). Como se observa en la Figura 38a las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 presentaron una disminución de 35.83% a temperatura ambiente y 12°C, mientras que una disminución de 22.14% a 4°C. Las procedentes de la bodega R-136 de la misma variedad presentaron una disminución de 6.9% a temperatura ambiente, 32.31 y 27.42 % a 12 y a 4°C, respectivamente (Figura 38b). Estadísticamente se encontró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la temperatura ambiente de almacenamiento.

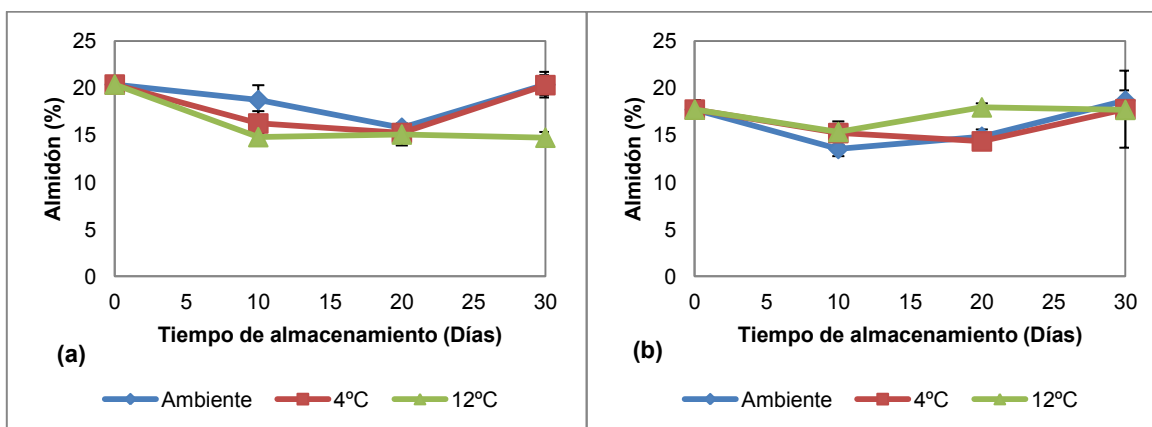


Figura 37. Contenido de almidón en papa variedad „Atlantic“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

Las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-136 presentaron el menor contenido de azúcares reductores a lo largo de todo el almacenamiento y a las diferentes temperaturas de almacenamiento (Figura 36b). El contenido de almidón para ésta variedad y procedentes de esta misma bodega fue 8.53 veces mayor con respecto a las de la bodega R-126 almacenadas a temperatura ambiente (Figura 38). De igual manera el contenido de almidón fue 2.34 veces mayor que para las variedad „Atlantic“ procedentes de la bodega R-126 y 4.96 veces mayor que para las de la bodega R-140 (Figura 37) a la misma temperatura. Como regla general cualquier factor ambiental o manejo que aumente el contenido de azúcares reductores, disminuye el contenido de almidón y viceversa (Stark *et al.*, 2003).

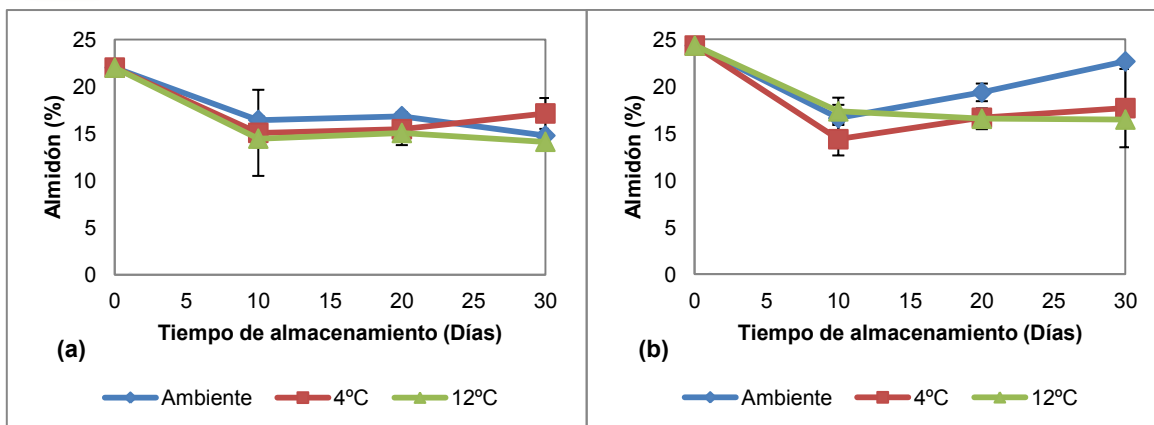


Figura 38. Contenido de almidón en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres diferentes temperaturas.

Para la variedad „Atlantic” se encontró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la bodega R-140, como se observa en la Figura 37b, el contenido de almidón al inicio fue de 17.7%, esto es 2.67 veces menor con respecto al contenido inicial para la bodega R-126. De igual manera un contenido inicial fue 4.9 veces menor que la variedad „Fianna” procedentes de la bodega R-126 y 6.62 veces menor que las procedentes de la bodega R-136 de esta variedad. Por lo que el comportamiento de las papas procedentes de esta bodega a lo largo del periodo de almacenamiento fue distinto con respecto a las papas de la otra variedad y bodegas.

Existen muchos factores que interactúan para afectar la acumulación de los azúcares reductores en los tubérculos de papa durante el almacenamiento. El estrés hídrico durante el crecimiento, el estrés por calor, la madurez de la cosecha, la gravedad específica, la temperatura de almacenamiento, el manejo de la temperatura y el cultivo, han demostrado afectar el endulzamiento y por lo tanto la calidad del procesamiento durante el almacenamiento (Knowles *et al.*, 2009).



4.2.4. Gravedad específica

La industria procesadora de papa utiliza mediciones de gravedad específica de los tubérculos para juzgar la calidad de los mismos, debido a su alta relación con respecto al contenido de materia seca y la rapidez con la que puede ser determinada (Bergonzi, 2011; Hasbún *et al.*, 2009; Myhre, 1959, Talburt y Smith, 1987). En la Figura 39 se muestra la gravedad específica de las papas variedad „Atlantic“ almacenadas a diferentes temperaturas y procedentes de las dos bodegas de almacenamiento, a lo largo del periodo de almacenamiento.

Se observa que las papas almacenadas a temperatura ambiente y 12°C de la bodega R-126 presentaron un incremento en la gravedad específica del inicio al final del almacenamiento. Mientras que las almacenadas a 4°C presentaron un incremento de 7.18% a los 20 días de almacenamiento y posteriormente una disminución considerable de 12.9% (Figura 39a). Las papas procedentes de la bodega R-140 y almacenadas a las diferentes temperaturas de almacenamiento presentaron un incremento a los 10 días de almacenamiento con su posterior mantenimiento. A temperatura ambiente y 12°C, presentaron un incremento de 5.6%, mientras que a 4°C el incremento fue de 1.67% (Figura 39b).

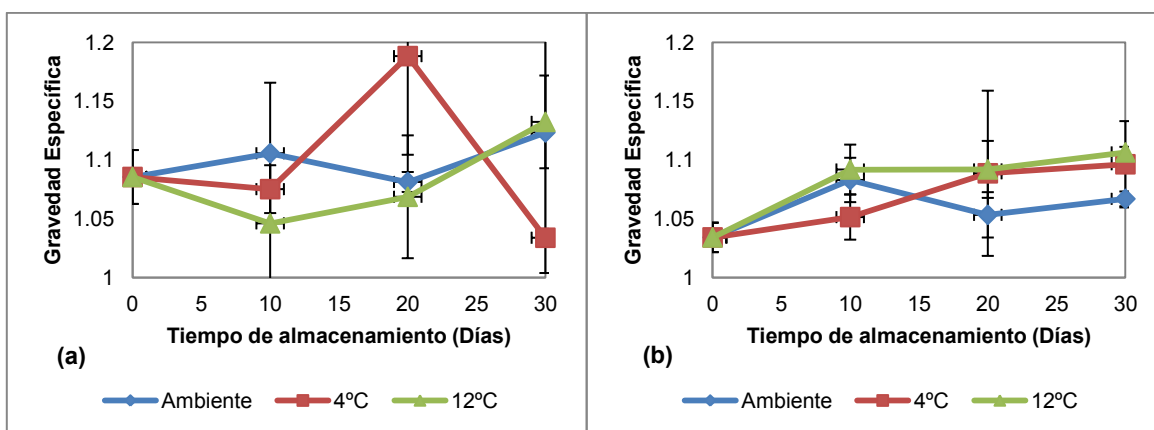


Figura 39. Gravedad específica en papa variedad „Atlantic“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-140 (b) almacenadas a tres temperaturas de almacenamiento

Las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 presentaron mayores valores de gravedad específica al inicio del almacenamiento (Figura 40a). Por otro lado



las papas variedad „Atlantic“ procedentes de la bodega R-140 presentaron una gravedad específica de 1.0339, siendo éste el menor contenido en todos los casos. Estadísticamente se encontró diferencia significativa con respecto a la bodega de procedencia R-140 para la variedad „Atlantic“. Myhre (1959) determinó que la variedad es el factor más importante para determinar la gravedad específica y encontró valores de entre 1.0824 a 1.0642 debidas principalmente a diferencias varietales. Motes y Greig (1970) mencionan que la gravedad específica en papas tiene una fuerte influencia por el contenido de nutrientes del suelo donde fueron cultivadas. Talburt y Smith (1987) mencionan que existen diversas condiciones de cultivo y ambientales que influyen en la gravedad específica de las papas como fecha de siembra, tipo de suelo, humedad del suelo, estación, ubicación, temperaturas de cultivo y tiempo de cosecha. Las papas que fueron almacenadas en la bodega R-140 de la central de abastos del Distrito Federal, procedían de Chihuahua, Chihuahua. Esto sugiere que las condiciones ambientales y de cultivo eran diferentes con respecto a las procedentes de las otras bodegas de la central de abastos, debido a que todas éstas procedían Los Mochis, Sinaloa. El periodo de cosecha de las papas en estudio se realizó en Agosto-Septiembre. El estado de Chihuahua presenta climas áridos con índices de humedad promedio anuales de 43-52% y temperaturas media anuales de 17°C. En la temporada de septiembre se presenta el mayor índice de humedad en el estado de Chihuahua, siendo de alrededor del 57% y temperaturas de hasta 40°C. Por otro lado, Sinaloa presenta un clima cálido sub-húmedo, con mayores índices de humedad anuales, siendo estos de 70-80% y temperaturas en promedio de 30°C (INEGI, 2011).

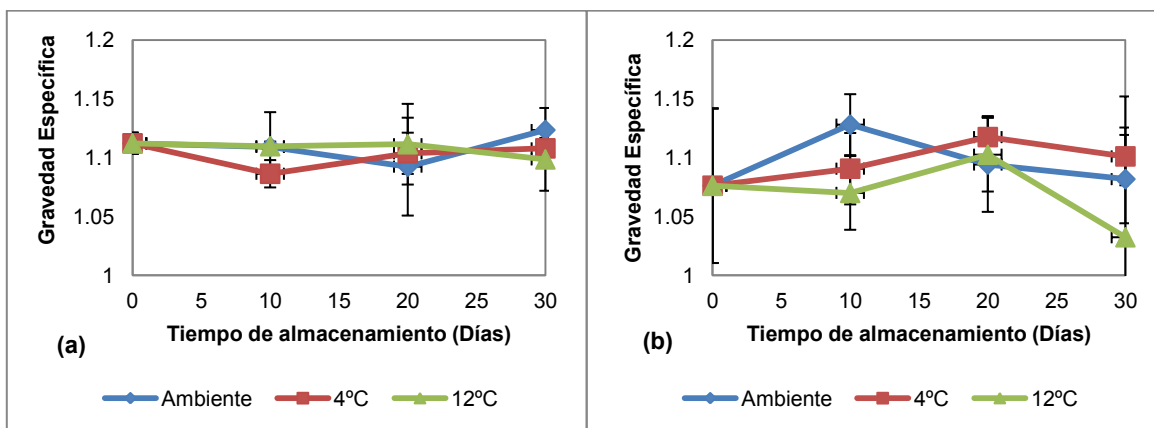


Figura 40. Gravedad específica en papa variedad „Fianna“ procedente de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) almacenadas a tres temperaturas de almacenamiento



Las papas variedad „Atlantic“ procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a temperatura ambiente, presentaron la mayor gravedad específica al final del periodo de almacenamiento, siendo éste de 1.1234. De igual manera, la variedad „Fianna“ procedente de la misma bodega, presentó un valor de 1.1232 al final del almacenamiento. Como se observó en la Figura 29b, éstas mismas fueron las que presentaron mayor porcentaje de pérdida de peso a temperatura ambiente de almacenamiento. Sin embargo no se encontró una correlación lineal entre estos parámetros. Laza *et al.* (2001) estudiaron el efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades mecánicas de la papa (gravedad específica y cambios en turgencia), encontrando un ligero aumento en la gravedad específica, debido principalmente a la pérdida de agua por transpiración. A pesar de esto, estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la temperatura ni al tiempo de almacenamiento para ninguna variedad ni bodega de procedencia.

Hasbún *et al.* (2009) encontraron que la gravedad específica de las papas comerciales se encuentra entre rangos de 1.058 a 1.105. La gravedad específica para ambas variedades y bodegas de procedencia presentaron valores dentro de estos rangos. La gran variación entre los valores obtenidos durante la experimentación se justifica en el hecho de que no existía homogeneidad entre las papas utilizadas.

4.3. Efecto de las temperaturas de almacenamiento

Para determinar el efecto de la condiciones de almacenamiento se llevó a cabo un muestreo a partir de la recepción y cada 15 días del contenido de almidón y azúcares reductores, sólidos totales y gravedad específica durante 30 días; esto debido a que en previas experimentaciones no se observó influencia realizando el muestreo cada 10 días. En el caso de pérdida de peso e incidencia de brotes, el registro se realizó diariamente durante los 30 días de almacenamiento. Se trabajó únicamente con la variedad „Fianna“, ya que en ésta previamente se observó una influencia por parte de la bodega de procedencia sobre el parámetro de mayor interés durante el estudio, los azúcares reductores. De igual manera, debido a que no hubo diferencia significativa por parte de las temperaturas de almacenamiento entre 12 y 4°C, solo se almacenaron las papas a temperatura ambiente y 4°C durante esta experimentación.



4.3.1. Pérdida de peso

Los factores que influyen en la pérdida de peso son el estado de madurez de las papas al momento de la cosecha; heridas durante la cosecha y el almacenamiento; temperaturas y humedades de almacenamiento inmediato a la cosecha; temperatura, humedad relativa y ventilación y tiempo de almacenamiento (Talburt y Smith, 1987).

En la Figura 41 se muestra el efecto de dos temperaturas de almacenamiento sobre el porcentaje de pérdida de peso para las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 y R-136.

Estadísticamente se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la temperatura de almacenamiento. Las papas almacenadas a temperatura ambiente presentaron una mayor pérdida de peso para ambas bodegas de procedencia con respecto a las almacenadas a 4°C, siendo de 4.01% para las procedentes de la bodega R-126 (Figura 41a). Las papas procedentes de la bodega R-126 presentaron 2.95 veces mayor pérdida de peso almacenadas a temperatura ambiente que a 4°C. Mientras que las procedentes de la bodega R-136, presentaron 1.19 veces mayor pérdida con respecto a las almacenadas a 4°C. Según Abeygunawardena *et al.* (2011), las altas temperaturas de almacenamiento provocan la rápida pérdida de peso como resultado del calentamiento interno o de aumento de la temperatura atmosférica externa, o por medio del aumento en la tasa de respiración. La tasa de respiración de las papas incrementa con el incremento en la temperatura (Talburt y Smith, 1987). Según lo citado por Talburt y Smith (1987), la tasa mínima de respiración de los tubérculos de papa ocurre a temperatura de 3°C, mientras que Booth y Shaw (1990) citan que ésta es mínima alrededor de 5°C. La respiración es un proceso fisiológico que consiste en la combinación del almidón y los azúcares del tubérculo con el oxígeno del aire, provocándose la eliminación de agua y gas carbónico; por esto la respiración es un proceso vital del tubérculo, que contribuye a su deshidratación. La respiración alcanza su máximo nivel inmediatamente después de la cosecha. Su ritmo tiende a aumentar en la medida en que aumente la temperatura de almacenamiento, siendo más acentuado en los tubérculos inmaduros que en los maduros y mayor en los que presentan heridas o cortes que los sanos (Moreno *et al.*, 2000). A pesar de esto como se observa en la Figura 42a, a la recepción, las papas procedentes



de la bodega R-126 presentaron menor muestra de daños que las procedentes de la bodega R-136.

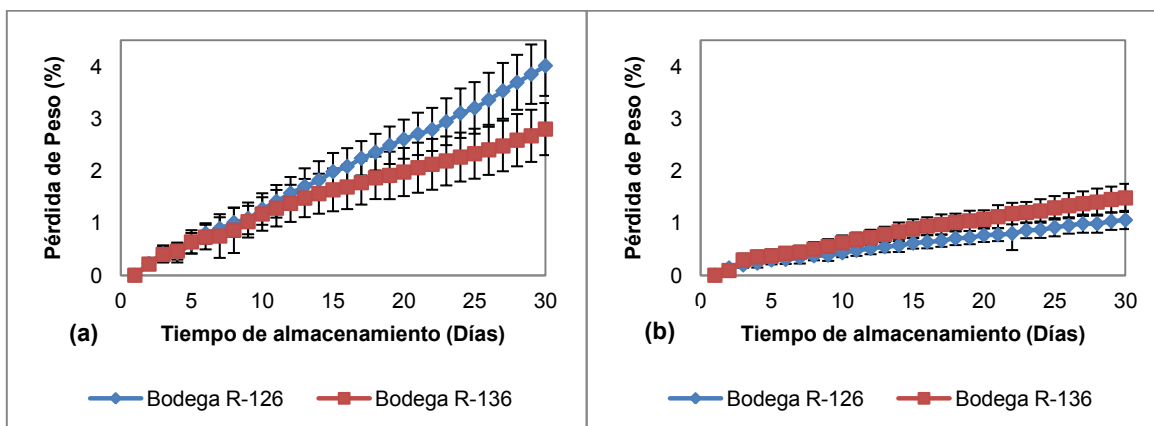


Figura 41. Porcentaje de pérdida de peso en papa variedad „Fianna“ procedentes de las bodegas R-126 y R-136, almacenada a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).

De igual manera otro factor importante durante el almacenamiento de las papas después de cosechadas es el mantenimiento de la humedad relativa (Booth y Shaw, 1990). La humedad relativa de las papas almacenadas a temperatura ambiente se encontraba alrededor del 76%. Las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C, presentaban humedades relativas alrededor del 88%. La baja humedad relativa del aire debida a una diferencia de presiones parciales entre el aire y el producto, ocasiona la pérdida de humedad del mismo por transpiración para absorberla el aire del ambiente. La transpiración de los tubérculos de papa se provoca por la circulación de aire durante el almacenamiento, que tiende a nivelar el contenido de humedad del ambiente con el contenido de humedad del tubérculo, generándose flujos de agua hacia el ambiente, por evaporación de agua presente en los tubérculos. De ésta forma, la transpiración es favorecida cuando se almacenan papas en condiciones de baja humedad relativa (Moreno *et al.*, 2000). Para condiciones de almacenamiento de papa es recomendable tener humedades relativas lo más cercanas al 90-95% para evitar la pérdida de humedad (CAMAGRO, 2005).

En conjunto la deshidratación causada por los procesos de transpiración y de respiración se traduce en pérdida de peso del tubérculo de papa durante su almacenamiento (Moreno *et al.*, 2000).



Como se trato en el apartado 4.2.1, la respiración de los tubérculos tiende a aumentar en aquellos que presentan daños como heridas o cortes que en los sanos. En la Figura 42b se puede observar que a la recepción, las papas que procedían de la bodega R-136 presentaban mayores daños mecánicos. Sin embargo, las papas procedentes de la bodega R-126 presentaron una pérdida de peso de 4.01% al final del período de almacenamiento (Figura 41a). Esto fue 1.34 veces mayor con respecto a las procedentes de la bodega R-136 que presentaron una pérdida de peso de 2.67% al final del almacenamiento (Figura 41b). Moreno *et al.* (2000) mencionan que para facilitar el paso del aire en los tubérculos se aconseja estibas de no más de 12. En ambas bodegas se presentaron número de estibas por encima de 12. Sin embargo, en la bodega R-136 se suelen colocar un mayor número de estibas de hasta 20 a 22, con respecto a las de la bodega R-126 que colocan estibas de no más de 15. Además Moreno *et al.* (2000) también mencionan que durante el almacenamiento en bodega, las papas que tengan acumulación de tierra y restos orgánicos, presentarán una menor circulación de aire y una elevación en la temperatura. A mayor temperatura en la bodega se provocará un incremento en la tasa de respiración y por consiguiente una mayor pérdida de humedad. Esto sugiere que en la bodega R-126 no llevaron a cabo una buena limpieza de los tubérculos de papa, dejando residuos orgánicos y suciedad.

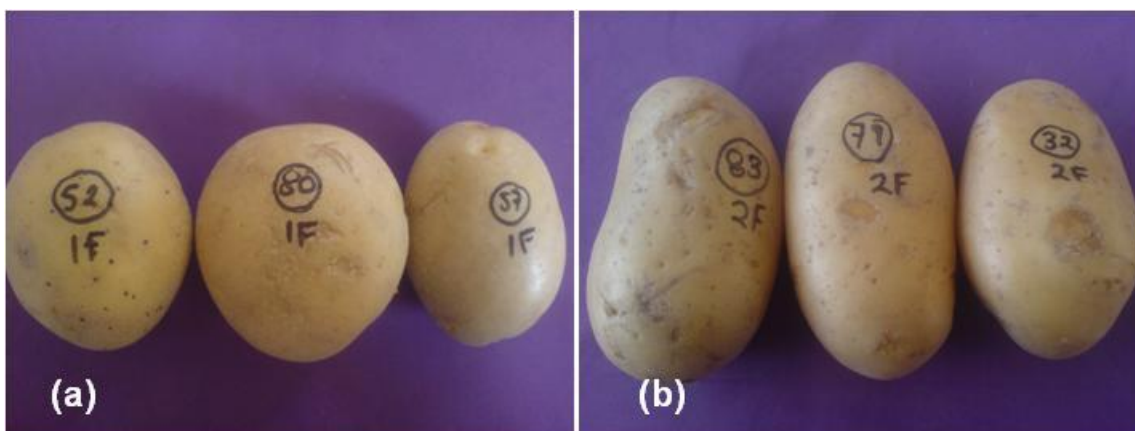


Figura 42. Daños mecánicos a la recepción de papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 (a) y R-136 (b).

Burton (1955) ha demostrado que hay una mayor pérdida de humedad después de ocurrido el brotamiento de las papas, debido a que las papas con brotes tienden a perder de 30-40 veces mayor humedad que las papas sin brotes. Como se observa en el



apartado 4.3.2, Figura 43, las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a temperatura ambiente, presentaron mayor formación de brotes.

4.3.2. Incidencia de brotes

Después de la cosecha, las papas suelen pasar por un periodo de reposo o dormancia, durante el cual hay poco o nada de crecimiento de brotes sin importar el medio ambiente. Después de terminado el periodo, el crecimiento de brotes ocurre a temperaturas de 4.4°C o por encima de esta temperatura, si las temperaturas de almacenamiento se mantiene por debajo de esta temperatura, ocurre un crecimiento mínimo sino es que nulo de los brotes (Talbur y Smith, 1987).

Nourian *et al* (2003) mencionan que temperaturas altas de almacenamiento tienen una influencia en la calidad de la papa, especialmente al almacenarse por largos periodos de tiempo, se propicia la formación de brotes y consecuente brotamiento de las papas. Las papas procedentes de la bodega R-126 almacenadas a temperatura ambiente presentaron un incremento de 2.6 desde el inicio hasta el final del almacenamiento. El incremento se presentó desde el segundo día hasta el día 28 de almacenamiento (Figura 43a). De acuerdo con Booth y Shaw (1990), el crecimiento de brotes alcanza una temperatura óptima para su crecimiento alrededor de los 20°C. Sin embargo, esto no se observó para las papas procedentes de la bodega R-136 cuya incidencia de brotes se mantuvo de 1 desde el inicio hasta el final del almacenamiento.

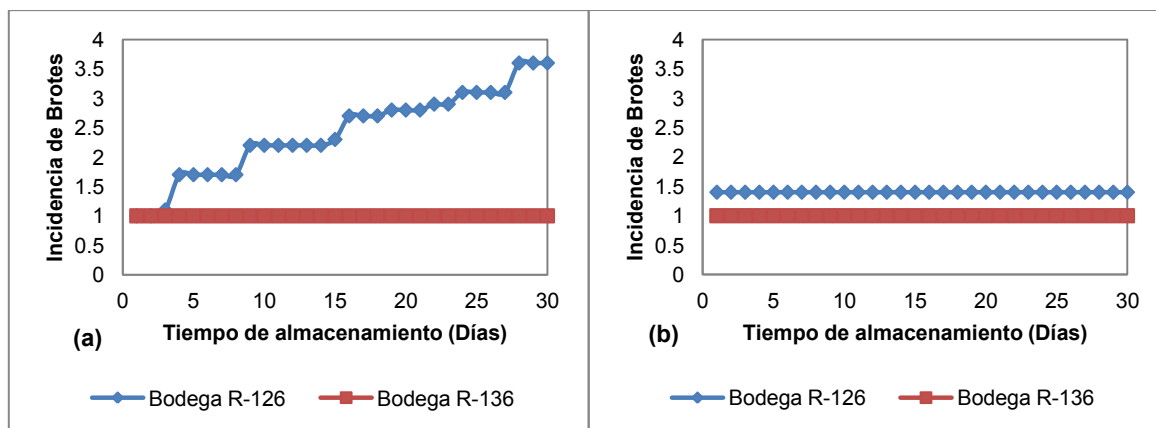


Figura 43. Incidencia de brotes en papa variedad „Fianna“ procedentes de las bodegas R-126 y R-136, almacenada a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).



La humedad de almacenamiento puede afectar la tasa de crecimiento de los brotes (Booth y Shaw, 1990), siendo mayor la formación de brotes a bajas humedades relativas. Las papas a temperatura ambiente estuvieron almacenadas a humedades relativas de alrededor del 76%, mientras que las almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C, estuvieron a humedades relativas alrededor del 88% o mayores.

Las papas procedentes de la bodega R-126 presentaron una incidencia de brotes 0.4 veces mayor con respecto a las procedentes de la bodega R-136 desde el inicio hasta el final del almacenamiento (Figura 44a). Para evitar el brotamiento de las papas éstas suelen tratarse con inhibidores de brotamiento (Mondoñedo *et al.*, 1983). Esto sugiere que las papas procedentes de la bodega R-136 pudieron haber sido tratadas con inhibidores de brotamiento más efectivos que las procedentes de la bodega R-126.

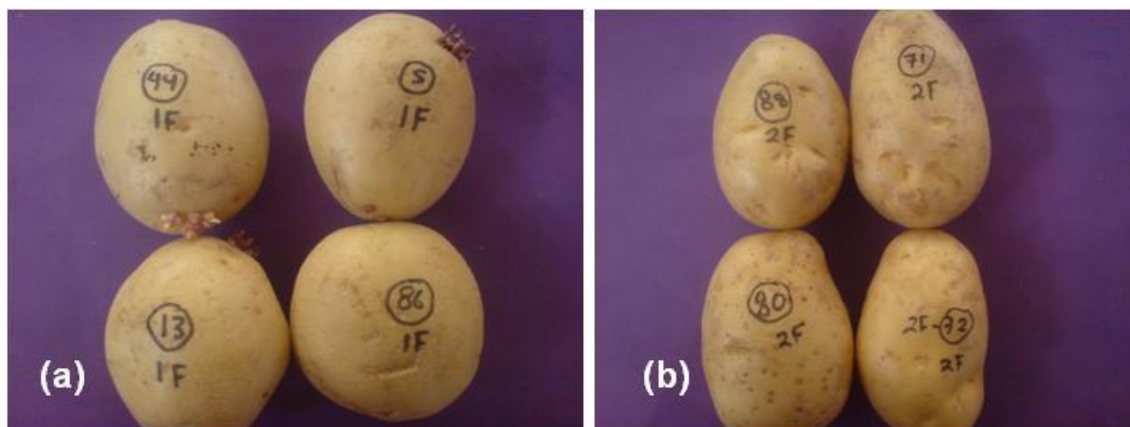


Figura 44. Brotes al final del almacenamiento de papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 (a) y R-136 (b) y almacenadas a temperatura ambiente.

Para prolongar el periodo de dormancia o reposo, se deben almacenar los tubérculos a bajas temperaturas (Mondoñedo *et al.*, 1983). Se ha citado que temperaturas de almacenamiento de entre 2-4°C se inhibe el brotamiento de las papas, especialmente en almacenamiento por largos periodos de tiempo (Chie *et al.*, 2006). En la Figura 43 se puede observar que hubo un mantenimiento en la incidencia de brotes de aquellas papas que fueron almacenadas a 4°C. Booth y Shaw (1990) también mencionan que el crecimiento de los brotes es lento a temperaturas de 5°C y menores; mientras que por arriba de 5°C un incremento de temperatura aumenta el crecimiento de brotes.



4.3.3. Azúcares reductores y contenido de almidón

El control de las temperaturas durante el almacenamiento, es de suma importancia para la calidad del procesamiento de las papas. Es bien conocido que el contenido de azúcares de las papas incrementa cuando estas son almacenadas a bajas temperaturas, repercutiendo sobre la calidad para su procesamiento (Booth y Shaw, 1990; CAMAGRO, 2005; Egúsquiza, 2000; Moreno, 2000; Talburt y Smith, 1987).

En la se muestra el efecto de las dos temperaturas de almacenamiento empleadas sobre el contenido de azúcares reductores para las papas variedad „Fianna“ procedentes de la bodega R-126 y R-136.

Un incremento se observó considerable en el contenido de azúcares reductores durante los 30 días de almacenamiento a temperaturas por debajo de los 4°C, obteniendo el máximo valor de 1.9% las papas de la Bodega R-136, mientras que las papas de la Bodega R-126 presentaron un valor máximo de 1.7% (Figura 45b). Amir *et al.* (1977) encontraron niveles de azúcares reductores de 2.5% a los 30 días de almacenamiento, para papas almacenadas a 4°C.

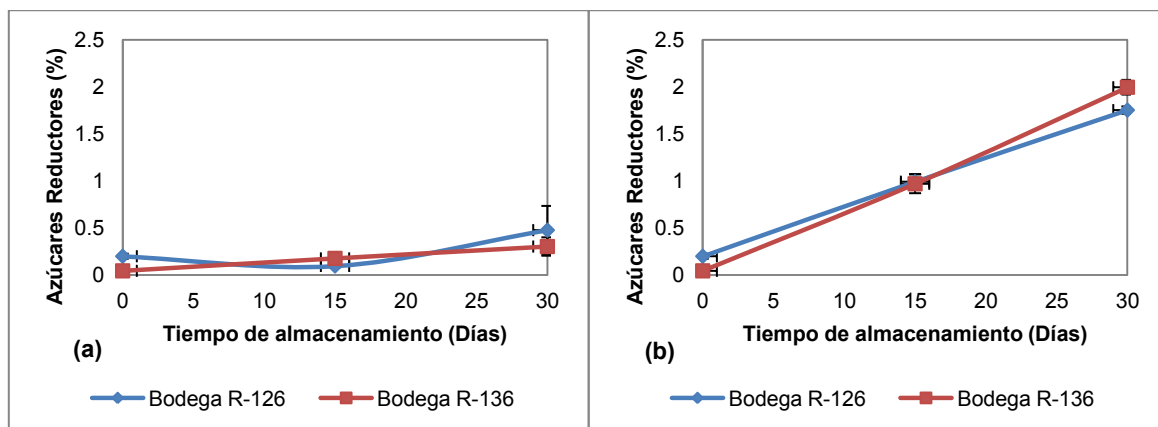


Figura 45. Contenido de azúcares reductores en papa variedad „Fianna“ procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).

El endulzamiento de las papas por influencia de bajas temperaturas se ha observado a partir de los 8°C (Chie *et al.*, 2006), pero los valores más altos se han encontrado a temperaturas de entre 4 y 2°C (Hertog *et al.*, 1997; Akiko *et al.*, 2005; Moreno *et al.*,



2007). Hammond *et al.* (1990) mencionaron que la reducción de la actividad de la enzima fosfofructoquinasa (PFK, por sus siglas en inglés) a bajas temperaturas, restringe la glicolisis y conlleva a un incremento en el contenido hexosa-fosfato y la subsecuente acumulación de los azúcares. Spsychalla y Desborough (1990) sugirieron que los cambios en la composición lipídica de la membrana celular a bajas temperaturas, pueden incrementar la permeabilidad de la membrana y consecuentemente influir en la salida de electrolitos (sustratos, productos, iones, cofactores, etc.), que son necesarios para el mantenimiento de los niveles de azúcares. Encontrando una correlación lineal entre el contenido de los azúcares reductores y la salida de éstos electrolitos.

Algunos autores citan que las variedades de papas con contenidos de azúcares reductores de entre 1.2 y 2.8% no son recomendadas para la elaboración de papas fritas “chips” (Moreno, 2007); mientras que otros precisan que la industria requiere de variedades con bajos contenidos en azúcares reductores, inferiores al 0.1% del peso fresco es ideal para la producción de hojuelas y más alto de 0.33% es inaceptable (Moreno, 2000). Por lo que las papas en estudio, almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C, no son recomendables para su procesamiento industrial.

A temperatura ambiente se presentó también un ligero incremento en el contenido de azúcares reductores, el cual no rebasó el 0.5% (Figura 45a). Sin embargo, los niveles de azúcares reductores fueron 0.17 veces mayor para las papas procedentes de la bodega R-126 con respecto a los de la bodega R-136. Estudios realizados por Dimalla y Van Staden (1977) mostraron un incremento en el contenido de azúcares asociado a una ruptura en la dormancia de tubérculos de papa cuando se almacenaron a 20°C. Según la Figura 44a mostrada en el apartado 4.3.2, muestra que para las papas procedentes de la bodega R-126, almacenadas a temperatura ambiente, hubo mayor formación de brotes con respecto a las de la bodega R-136. De igual manera Coffin *et al.* (1987) reportaron niveles más bajos de glucosa y sacarosa en papas sin brotes que en papas con brotes. Sonnewald (2001) menciona que al principio del brotamiento ocurre una degradación de proteínas y del almidón y a su vez una formación de azúcares solubles y aminoácidos.

Se encontró una tendencia proporcional al disminuir el contenido de almidón a ambas temperaturas, mientras que los azúcares reductores presentaron un aumento en su contenido. Sin embargo, solo las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los



4°C presentaron una fuerte correlación lineal entre el contenido de almidón y los azúcares reductores, siendo de $R^2=0.9781$ para las procedentes de la bodega R-126 y $R^2=0.9739$ para las procedentes de la bodega R-136, ambas correlaciones fueron significativas a un nivel de significancia de 0.05. A la recepción, las papas de ambas bodegas presentaron contenidos de almidón del 19.8% y como se observa en la Figura 46a, a temperatura ambiente el contenido decreció ligeramente obteniendo valores del 18% en ambas bodegas; no siendo así para temperatura por debajo de los 4°C, ya que a estas condiciones se observó una mayor disminución (Figura 46b), obteniendo el menor valor las papas de la Bodega R-136 (12.3%). Estadísticamente se presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para el contenido de almidón y de azúcares reductores, con respecto a la temperatura de almacenamiento para las papas procedentes de ambas bodegas.

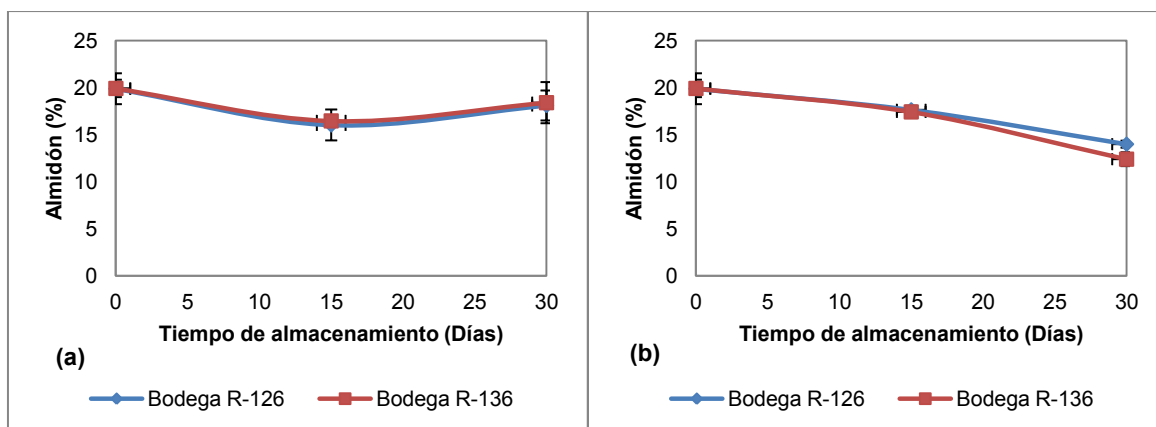


Figura 46. Contenido de almidón en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).

El contenido de almidón de las papas decrece con las bajas temperaturas de almacenamiento a través del proceso de conversión de almidón a azúcares por efecto de enzimas amilolíticas (Talbert y Smith, 1987). Ohad *et al.* (1971) sugirieron que los cambios inducidos por frío, sobre el contenido de almidón y azúcares reductores, durante el almacenamiento de los tubérculos de papa, puede estar correlacionado con el daño a las membranas que rodean los gránulos de almidón y los cambios en su permeabilidad debida a la degradación de enzimas y sustratos. El contenido de almidón ideal es del 20% en el caso de papas destinadas a su procesamiento como papas fritas “chips” por lo que estas temperaturas por debajo de los 4°C no son recomendables para su almacenamiento (Moreno, 2000).



En general, se observó que las papas de la Bodega R-136 tuvieron mayor susceptibilidad a la degradación de su contenido de almidón y acumulación de azúcares reductores al almacenarse por debajo de los 4°C.

4.3.4. Sólidos totales

Los sólidos totales representan el 80% del peso del tubérculo. El almidón representa cerca del 70% de los sólidos totales. El almidón es más pesado que el agua, por consiguiente, es el determinante principal de la densidad en los tubérculos de papa, él cual comúnmente se refiere como la gravedad específica de los tubérculos. El contenido de almidón, de sólidos totales y la gravedad específica son términos utilizados intercambiamente cuando se refiere a la calidad de los tubérculos de papa para procesamiento (Stark *et al.*, 2003).

En la Figura 47 se muestra los sólidos totales a lo largo de los 30 días de almacenamiento para las papas variedad „Fianna” procedentes de las dos bodegas de almacenamiento y almacenadas a temperatura ambiente y a 4°C.

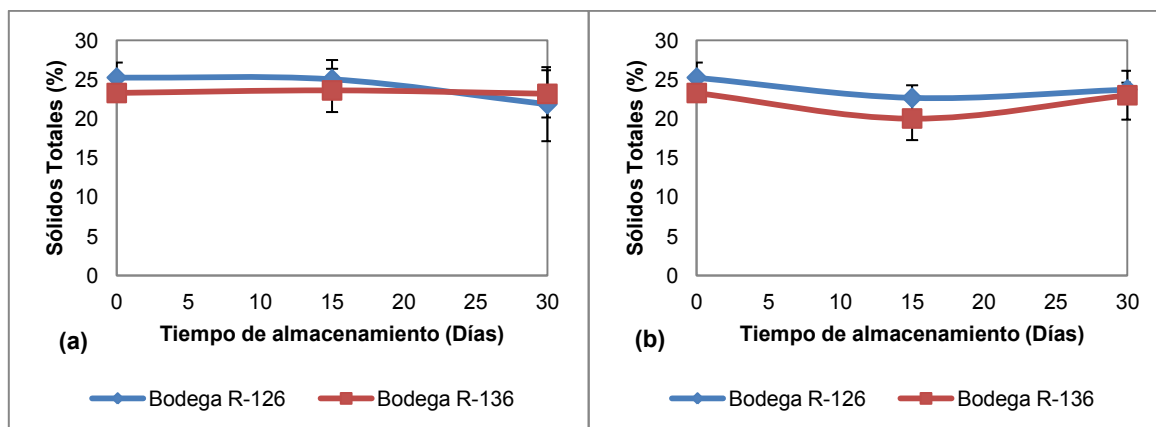


Figura 47. Sólidos totales en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).

Las papas procedentes de la bodega R-126 presentaron un contenido de sólidos totales de 25.2% a la recepción, 2 veces más que las procedentes de la bodega R-136 cuyo contenido de sólidos totales fue de 23.2%. Durante el periodo de almacenamiento a



ambas temperaturas se observó un ligero decremento en los sólidos totales para las dos bodegas de procedencia. Estadísticamente no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la bodega de procedencia ni a la temperatura de almacenamiento, pero si se presentó una influencia en la interacción bodega-temperatura de almacenamiento. A los 15 días de almacenamiento se observó el mayor decremento para las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C; siendo de 10.31% para las papas procedentes de la bodega R-126 y de 13.7% para las procedentes de la bodega R-136.

Los sólidos totales están relacionados principalmente con el contenido de almidón (Moreno, 2000). Hasbún *et al.* (2009), encontraron que el contenido de sólidos totales correlaciona fuertemente con el contenido de almidón. Debido a esto, se esperaba que las papas almacenadas a 4°C y procedentes de la bodega R-136, presentaran una disminución en sólidos totales durante el periodo de almacenamiento, ya que éstas fueron la que presentaron una mayor disminución en su contenido de almidón como se observa en la (Figura 45b). Sin embargo en el presente estudio no se encontró una correlación lineal entre estos y el contenido de almidón para ninguna de las bodegas de procedencia ni temperaturas de almacenamiento. Los sólidos totales se componen de carbohidratos (almidón, azúcares, celulosa, pectinas), compuestos nitrogenados (proteínas, aminoácidos, enzimas), glicoalcaloides, vitaminas, minerales, ácidos orgánicos y lípidos (Shaw y Booth, 1987). Por lo que una disminución en el contenido de almidón no necesariamente involucra una disminución proporcional en los sólidos totales, ya que puede disminuir el contenido de almidón, pero haber presencia de otros compuestos.

El menor contenido de sólidos totales al final del almacenamiento, lo presentaron las papas procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a temperatura ambiente (21.8%). Mientras que el mayor contenido de sólidos totales se obtuvo en las papas procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a 4°C (23.7%). Como se observa en la Figura 41, las papas procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C, presentaron una menor pérdida de peso con respecto a las de la bodega R-136. Esto debido a que la pérdida de humedad en el producto implica un aumento en los sólidos totales.

El contenido de sólidos en la papa es una de las características más importantes para el procesamiento industrial, ya que en la mayoría de procesos, contenidos altos son



sinónimo de alto rendimiento (Moreno, 2000). Contenidos de sólidos totales de 20% o mayores son deseable para el procesamiento de las papas (Stark *et al.* 2003). A lo largo del periodo de almacenamiento las papas procedentes de ambas bodegas y almacenadas a las dos temperaturas se encontraron dentro de estos contenidos.

4.3.5. Gravedad específica

La gravedad específica de las papas destinadas a procesamiento es de gran importancia. Papas con alta gravedad específica son preferibles para papas fritas “chips” (Talbur y Smith, 1987). Cuando se fríen papas con baja gravedad específica, se absorbe más aceite que cuando la gravedad específica es más alta, por lo tanto los valores obtenidos son favorables para un procesamiento industrial (Bergonzi, 2010).

En la Figura 48 se muestra la gravedad específicas de las papas variedad „Fianna” procedente de las dos distintas bodegas de almacenamiento de la Central de Abastos del Distrito Federal y su efecto por parte de las condiciones de almacenamiento a las que se sometieron durante 30 días.

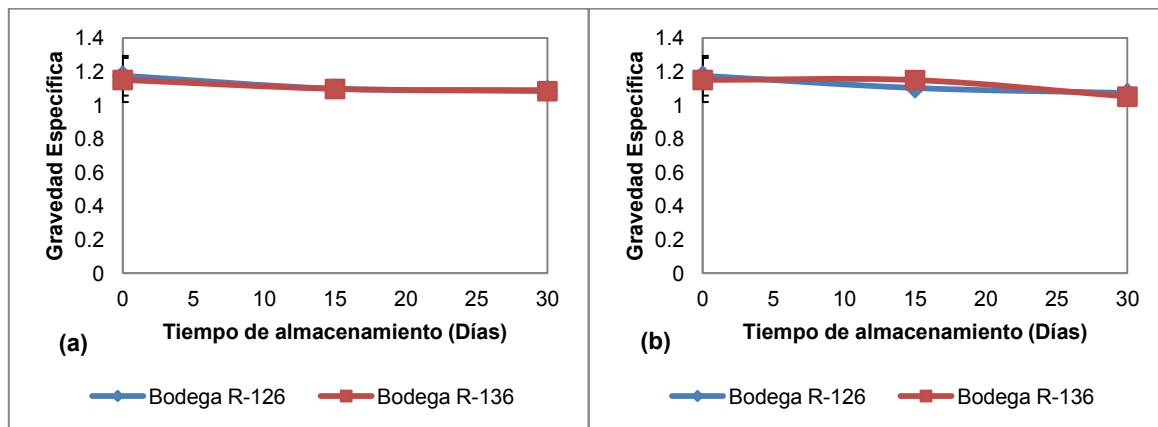


Figura 48. Gravedad Específica en papa variedad „Fianna” procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).

A la recepción de las muestras, las papas procedentes de la bodega R-136 presentaron menor gravedad específica (1.1499) que las de la bodega R-126 (1.1752). Las temperaturas y las humedades relativas durante el almacenamiento pueden tener un efecto en la gravedad específica de las papas (Booth y Shaw 1990). A temperaturas de



4°C se observó una disminución en la gravedad específica de hasta 8.8% para la bodega R-136. A temperatura ambiente la disminución en la gravedad específica fue de 5.8% para las de las papas procedentes de esta misma bodega. Estadísticamente no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la temperatura de almacenamiento para ninguna de las papas de las dos bodegas de procedencia, como se puede observar en la Figura 48.

La gravedad específica de las papas incrementa con el tiempo de de almacenamiento e indica un aumento en el contenido de sólidos totales, debido a la pérdida de agua (Talbert y Smith, 1987). Como se observó en la Figura 41a, a temperatura ambiente, las papas procedentes de la bodega R-126 presentaron al final del almacenamiento una mayor pérdida de peso, por lo que al igual que en los sólidos totales, se esperaba mayor gravedad específica para las papas de ésta bodega. Sin embargo, al final del almacenamiento, se presentaron valores muy semejantes, siendo de 1.0863 las procedentes de la bodega R-126 y de 1.0832 las de la bodega R-136. Estadísticamente no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a las bodegas de procedencia. En general se puede observar en la Figura 48 que la gravedad específica tampoco se vio influenciada por el tiempo de almacenamiento, ya que esta permaneció constante a lo largo de todo el periodo de almacenamiento.

El contenido de sólidos totales de la papa se suele correlacionar con la gravedad específica (Moreno, 2000). Las papas que fueron almacenadas a temperatura de 4°C y procedentes de la bodega R-136, presentaron una correlación lineal de $R^2=0.9284$, entre los sólidos totales y la gravedad específica. Hasbún *et al.* (2009) encontró una correlación lineal de $R^2=0.97$ entre el contenido de sólidos totales y éste parámetro. Además Stark *et al.* (2003) mencionan que el contenido de almidón también se relaciona fuertemente con la gravedad específica, en este estudio también se encontró una correlación lineal ($R^2=0.9429$) entre estos parámetros para las papas procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a temperaturas de 4°C, todas estas correlaciones fueron significativas a un nivel de significancia de 0.05.

La gravedad específica está ligada directamente al tamaño de las papas, entre mayores sean, mayor será su peso y por tanto mayor su gravedad específica. En este estudio se encontraron fuertes correlaciones lineales ($R^2 \geq 0.94$) con respecto al peso de las papas y



su gravedad específica, en todos los casos, siendo significativas a un nivel de significancia de 0.05. Como se trató en el apartado 4.2.4, las papas en esa parte del estudio presentaron gravedades específicas dentro de los rangos 1.058 a 1.105, encontrados por Hasbún *et al.* (2009). En esta parte del estudio los valores fueron ligeramente mayores. Gravedades específicas de entre 1.080 o mayores, son deseables para el procesamiento de las papas (Stark *et al.*, 2003). Por consiguiente las papas con las que se contaban en este estudio eran favorables para su procesamiento industrial debido a su alta gravedad específica que conlleva a un alto rendimiento.

4.4. Influencia de las condiciones de almacenamiento y bodega de procedencia en la calidad de las papas fritas.

Durante el procesamiento de las papas fritas “chips”, los parámetros más importantes a controlar son la intensidad del oscurecimiento durante la fritura (color), la cantidad de aceite absorbido durante el freído, la textura y frescura (Talbert y Smith, 1987). Los factores que influyen directamente en la calidad final de las papas fritas y prefritas son, fundamentalmente, la temperatura en almacenamiento, variedad empleada y madurez fisiológica del tubérculo (Moreno, 2000).

En el presente estudio se evaluó el efecto de las condiciones de almacenamiento y las bodegas de procedencia de la Central de Abastos del Distrito Federal sobre éstos parámetros de calidad en papas fritas “chips”.

4.4.1. Color









El color de las papas fritas es el primer parámetro de calidad evaluado por los consumidores y es crítico para la aceptación del producto (Pedreschi *et al.*, 2010).

En el Cuadro 17 se puede apreciar que a la recepción las papas presentaron un color amarillo-dorado, presentando mayor color los tubérculos procedentes de la bodega R-126. A los 15 días de almacenamiento se observó un incremento en la coloración para las papas almacenadas por debajo de los 4°C, no así para las almacenadas a temperatura ambiente. Mientras que al final del almacenamiento las papas fritas “chips” presentaron una coloración café-marrón. De acuerdo con Moreno (2000) en su apariencia externa y



evolución, el color de las papas fritas “chips” debe ser: desde blanco-amarillento, (aceptable) pasando por amarillo-oro (deseable) hasta marrón-negruzco (rechazable), y que hace un producto indeseable en sabor y apariencia.

Cuadro 17. Papas fritas “chips” de variedad „Fianna” de la bodega R-126 y R-136 almacenadas a dos temperaturas.

Almacenamiento	BODEGA R-126	BODEGA R-136
Inmediato al procesamiento		
15 días	T. Ambiente 	T. Ambiente 
	T < 4°C 	T < 4°C 
30 días	T. Ambiente 	T. Ambiente 



Cuadro 17. Papas fritas “Chips” de variedad „Fianna” de la bodega R-126 y R-136 almacenadas a dos temperaturas (*Continuación*).



Dos de los parámetros que se utiliza para la evaluación del color en papas fritas son la luminosidad (L^*) y la tonalidad o ángulo hue (h°). En la Figura 49 podemos observar la tonalidad de las papas fritas y su influencia por parte de las temperaturas de almacenamiento y bodegas de procedencia. De igual manera en la Figura 50 podemos observar la misma influencia sobre la luminosidad de las papas.

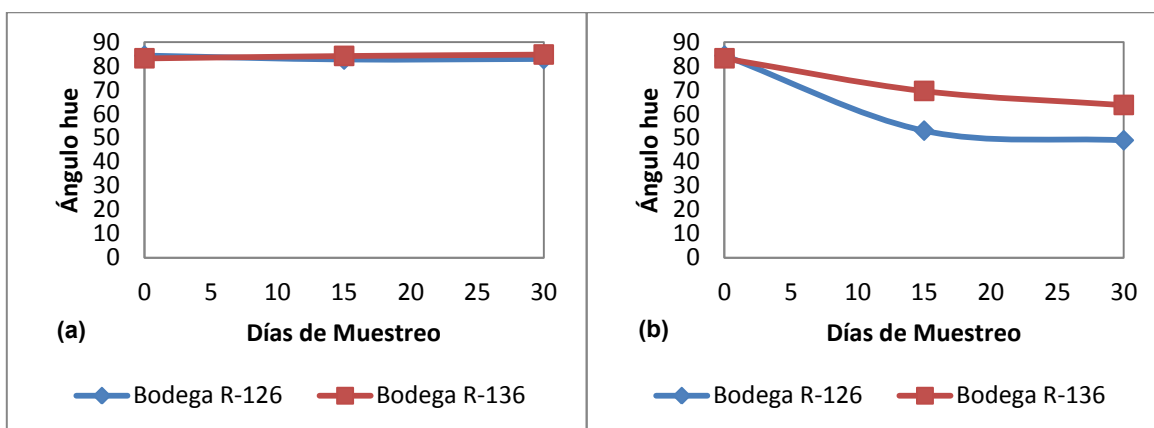


Figura 49. Parámetro de Tonalidad de papas fritas “Chips” procedentes de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y 4°C (b).

Como se puede apreciar en la Figura 49a, cuando las papas se almacenaron a temperatura ambiente no hubo cambio en la tonalidad al ser freídas, permaneciendo con valores de 84 °Hue, siendo que a valores cercanos a 90° se presentaron tonalidades amarillas correspondientes a las papas fritas (Cuadro 17). Hasbún *et al.* (2009) encontró que valores de 76.6 °Hue presentaron la coloración más amarilla en las papas fritas.



Mientras que a temperaturas por debajo de 4°C se presentó una disminución de la tonalidad, obteniendo el valor más bajo para las papas de la bodega R-126 con 48 °Hue. Estadísticamente se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a las bodegas de procedencia a $T < 4^\circ\text{C}$ y no así a temperatura ambiente.

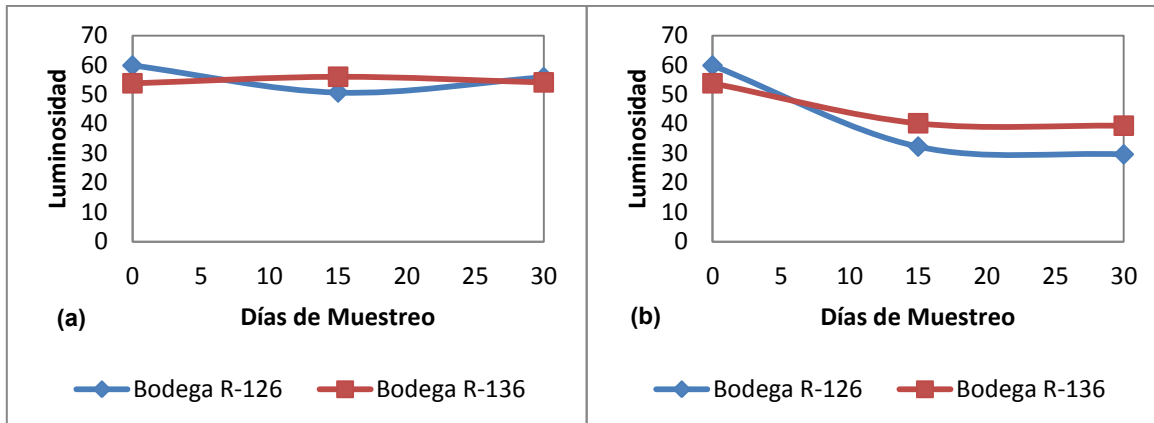


Figura 50. Parámetro de Luminosidad de papas fritas “Chips” procedentes de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y 4°C (b).

A temperaturas por debajo de 4°C se obtuvieron los valores más bajos de luminosity para ambas bodegas de almacenamiento. El valor más alto de $L=59.8$ se obtuvo a temperatura ambiente para las papas de la bodega R-126 ya $T < 4^\circ\text{C}$ se observó su decremento en el valor hasta 29.6 (Figura 50a). En el mismo estudio realizado por Hasbún *et al.* (2009) se encontraron coloraciones marrones desde valores de $L=41.7$. Las papas de la bodega R-136 presentaron de igual manera una disminución en la luminosity pero menor a las procedentes de la Bodega R-126; sin embargo no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para las bodegas de procedencia, pero sí para las temperaturas de almacenamiento. Valores de $L=40$ se consideran inaceptables para consumo (Yoshihiro *et al.*, 2003). Moreno (2000) menciona que las papas con una baja luminosity presentan coloraciones marrones y éstas son debidas principalmente a concentraciones de azúcares reductores de alrededor del 2%. Como se trató en el apartado 4.3.3, todas las papas almacenadas por debajo de los 4°C presentaron niveles de azúcares reductores cercanos a éste. Además Krokida *et al.* (2001) mostraron que la temperatura del aceite de freído tiene un efecto negativo en la luminosity de las papas fritas. A medida que aumenta la temperatura de freído (170°C-190°C), la luminosity de las papas disminuye. En este caso la temperatura de freído se encontraba alrededor de



los 180°C. Pedreschi *et al.* (2005) también encontraron que los cambios de color en las papas fritas durante el freído sigue una cinética de reacción de primer orden con respecto a la temperatura de freído.

Es bien sabido que los azúcares, en especial los reductores, tienen un marcado efecto en el color de las papas fritas “chips”. El oscurecimiento de las papas fritas es debido a una reacción de pardeamiento no enzimática conocida como reacción de Maillard, en donde debido a los contenidos de azúcares reductores, aminoácidos libres y las altas temperaturas empleadas durante el proceso de fritura, se da un pardeamiento en la papa frita que incide en un aumento en el sabor y olor del producto (Moreno, 2007; Pedreschi *et al.*, 2005; Talburt y Smith, 1987; Work *et al.*, 1981). La reacción de Maillard se designa a un grupo muy complejo de transformaciones que traen consigo la producción de melanoidinas coloreadas, que van desde amarillo claro hasta café oscuro, o incluso negro; para que se lleve a cabo se requiere de un azúcar reductor y un grupo amino libre, proveniente de un aminoácido o una proteína.

Medeiros *et al.* (2011) mencionan que la región periférica de las papas contiene las mayores concentraciones de azúcares reductores, por lo que es en ésta área en donde se da mayormente el pardeamiento no enzimático, como se observa en el Cuadro 17 para las papas procedentes de la bodega R-136.

4.4.2. Contenido de grasa

El contenido de grasa es un factor importante que afecta la aceptación del consumidor de productos fritos. Además repercute directamente sobre el costo de producción (Pedreschi *et al.* 2010).

Algunos de los factores más importantes que repercuten sobre el contenido de grasa de las papas fritas “chips” son la gravedad específica, el contenido de sólidos totales, pre-tratamiento antes del freído (secado, escaldado, tratamientos con químicos), el espesor de las hojuelas, el tipo de aceite, la temperatura durante el freído, y el tiempo de freído (Talburt y Smith, 1987).



A continuación en la Figura 51 se muestran los contenidos de grasa obtenidos a partir de las papas fritas procedentes de las dos bodegas de almacenamiento de la Central de Abastos del Distrito Federal y almacenados a temperatura ambiente y por debajo de los 4°C.

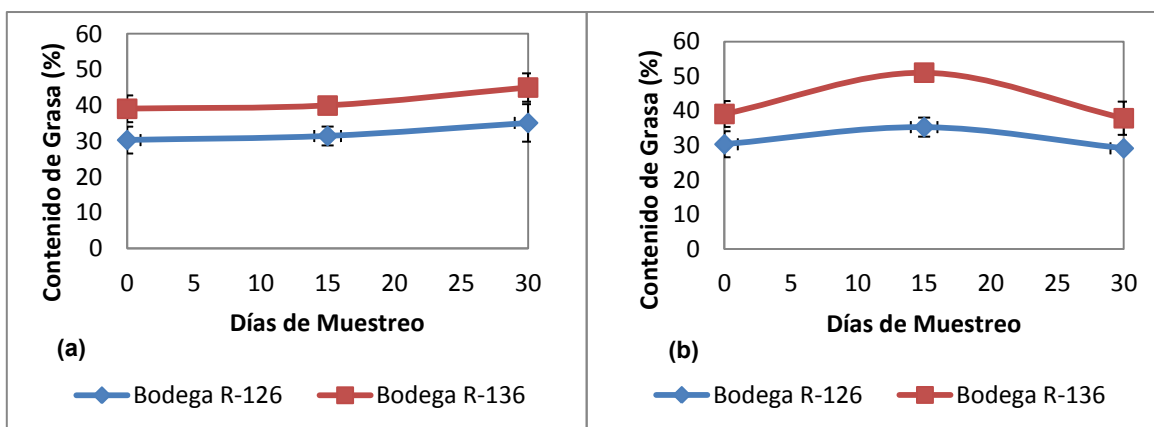


Figura 51. Contenido de grasa en papas fritas “Chips” procedente de la bodega R-126 y R-136, almacenadas a temperatura ambiente (a) y a 4°C (b).

Desde la recepción hasta el final del almacenamiento y para todos los casos, se obtuvieron contenidos de grasa superiores al 30%. Comúnmente las papas fritas “chips” presentan altos contenidos de grasa, de entre 35 a 39%, inclusive valores tan elevados como 42% (Talbur y Smith, 1987). Gamble y Rice (1988) encontraron que durante el freído, el contenido de grasa de las hojuelas puede ascender hasta el 40%. Pedreschi *et al.* (2010) encontraron contenidos de grasa en promedio de 30% en papas fritas “chips” al ser freídas a 175°C por 5 min. Condiciones semejantes a las empleadas en este estudio. Además Gamble y Rice (1988) también mencionan que existe una fuerte correlación lineal entre el área superficial de las hojuelas y el aumento en el contenido de grasa. De igual manera Pedreschi *et al.* (2008) encontraron que la absorción de aceite en las papas fritas “chips” es principalmente un fenómeno de superficie, que en su mayoría se lleva a cabo cuando el producto se retira de la freidora (durante su proceso de enfriamiento).

Como se observa en la Figura 51a, las papas procedentes de la bodega R-126 presentaron a la recepción 8.6 veces mayor contenido de grasa con respecto a las de la bodega R-136. Estadísticamente se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la bodega de procedencia. A temperaturas por debajo de los 4°C se encontró una



disminución del 3% del contenido de grasa en ambas bodegas de procedencia, no presentándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$). Durante el freído, las altas temperaturas provocan la deshidratación total o parcial de los alimentos, lo que ocasiona la absorción de aceite en el espacio que deja el agua. De manera que el contenido de humedad está relacionado con la absorción del aceite durante el freído. Bajos contenidos de humedad conllevan altos contenidos de sólidos totales que son deseables para los procesos de fritura de las papas (Stark *et al.*, 2003). Como se trató en el apartado 4.3.4, las papas procedentes de estas bodegas presentaron una disminución en su contenido de sólidos totales lo que repercutió en el contenido de grasa absorbida. Además, a temperaturas por debajo de los 4°C se encontró una correlación lineal ($R^2=0.9738$) de los sólidos totales con respecto al contenido de grasa, de las papas procedentes de la bodega R-136, siendo esta correlación significativa a un nivel de significancia de 0.05. Las papas procedentes de la bodega R-126 y almacenadas a temperatura ambiente tuvieron el mayor contenido de grasa la final del almacenamiento (45%). En la Figura 47 se observó que estas papas presentaron el menor contenido de sólidos totales al final del almacenamiento. De igual manera a temperatura ambiente se encontró una correlación lineal ($R^2=0.9702$) de los sólidos totales con respecto al contenido de grasa de las papas procedentes de la bodega R-126, siendo significativa a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo, la correlación lineal entre la gravedad específica y el contenido de grasa ($R^2=0.5599$) no fue significativa.

Finalmente Krokida *et al.* (2001) mencionan que existen fenómenos de transferencia de masa y calor durante el freído y que causan cambios fisicoquímicos que afectan el color y el contenido de grasa de los productos fritos.

4.4.3. Análisis sensorial

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre desde su infancia y de una forma consciente, acepta o rechaza los alimentos, de acuerdo con las sensaciones que experimenta el consumidor. La utilización de la evaluación sensorial es la de control de calidad y estandarización de un alimento (Ibáñez y Barcina, 2001).

Las pruebas sensoriales se utilizan para evocar, medir, analizar e interpretar reacciones hacia las características de los alimentos y materiales. Existen tres tipos de pruebas



sensoriales, las cuales se aplican de acuerdo al objetivo o aspecto que queremos evaluar en el alimento o preparación. Las pruebas discriminatorias, las descriptivas y las afectivas (Carpenter et al., 2000).

Las pruebas discriminatorias se utilizan para determinar si dos productos son percibidos de manera diferente por el consumidor, aunque no necesariamente detectan el tipo de diferencia encontrada. Determinan si hay diferencias en alguna dimensión específica entre dos muestras: acidez, dulce, salado, consistencia, color, etc. En general es una prueba sencilla (Pedrero y Daniel, 1989).

Para este se evaluaron los parámetros de dulzor, textura, contenido de grasa y color. La evaluación se realizó a la recepción y al final del almacenamiento.

Cuadro 18. Porcentaje de probabilidad de escoger la respuesta correcta entre las Bodega R-126 y R-136 a la recepción y al final del almacenamiento.

		Dulzor	Textura	Grasa	Color
		(%)	(%)	(%)	(%)
Recepción		61.53	46.15	42.31	65.38
30 días	T. Ambiente	42.31	38.46	48.34	38.46
	T. 4°C	69.23	50	50	65.38

Como se observa en el Cuadro 18, esta prueba mostró que los jueces encontraron diferencia significativa en cuanto a las bodegas de procedencia de las papas a la recepción para los parámetros de dulzor y color. En el apartado 4.3.3, se mostró que las papas procedentes de la bodega R-126, a la recepción, presentaron mayores niveles de azúcares reductores (0.19%) que las procedentes de la bodega R-136 (0.04%). En cuanto al color, en el Cuadro 17 se apreció que las papas procedentes de la bodega R-136 mostraron mayor coloración oscura a la recepción.

Para las que fueron almacenadas a bajas temperaturas se encontró diferencia significativa para todos los parámetros evaluados. Con base en los resultados se puede observar que existe una correlación entre el contenido de azúcares reductores y el dulzor de las papas, ya que los jueces fueron capaces de percibir este último y de igual manera



para los valores de tonalidad y luminosidad mostrados correspondientes al atributo de color (apartado 4.4.1).

4.4.4. Contenido de acrilamidas

Medeiros *et al.* (2011) mencionan diferentes aspectos que afectan a la formación de acrilamida en los productos de papas fritas. Entre ellas se encuentran las condiciones de cultivo de los tubérculos, las propiedades de suelo y fertilización, las condiciones climáticas, la madurez del tubérculo, el almacenamiento de las papas, el rebanado, los procesos de blanqueado, el uso de algunos aditivos, el secado previo y el proceso de freído.

Diversos estudios han demostrado que el contenido de azúcares reductores en las papas en fresco es el principal parámetro que se correlaciona fuertemente con el contenido de acrilamidas formadas durante la cocción a altas temperaturas de productos de papa (Akiko *et al.*, 2005; Biedermann *et al.*, 2010, Chie *et al.*, 2006; Claus *et al.*, 2008; De Wilde *et al.*, 2006; Gökmen *et al.*, 2005; Knutsen *et al.*, 2009; Moreno *et al.*, 2007; Olsson *et al.*, 2004; Serpen y Gökmen, 2009; Viklund *et al.*, 2008; Viklund *et al.*, 2010; Wicklund *et al.*, 2006; Yoshihiro *et al.*, 2003), entre estos, las papas fritas “chips”. En el apartado 4.3.3 se observó que al inicio del almacenamiento, las papas procedentes de ambas bodegas presentaron contenidos mínimos de azúcares reductores, por consiguiente los niveles de acrilamida generados en éstas no fueron detectables. Además el mayor contenido de azúcares reductores (1.9%) al final del almacenamiento, lo presentaron las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C y procedentes de la bodega R-136. En la Figura 52 se observa que el mayor contenido de acrilamida se presentó en estas condiciones, siendo de 265 µg/kg. Sin embargo, las papas almacenadas a temperatura ambiente también presentaron niveles considerables de acrilamidas siendo de 120 µg/kg las procedentes de la bodega R-126 y 80 µg/kg las procedentes de la bodega R-136, al final del almacenamiento, siendo que estas contenían niveles bajos de azúcares reductores como se observó en la Figura 45a.

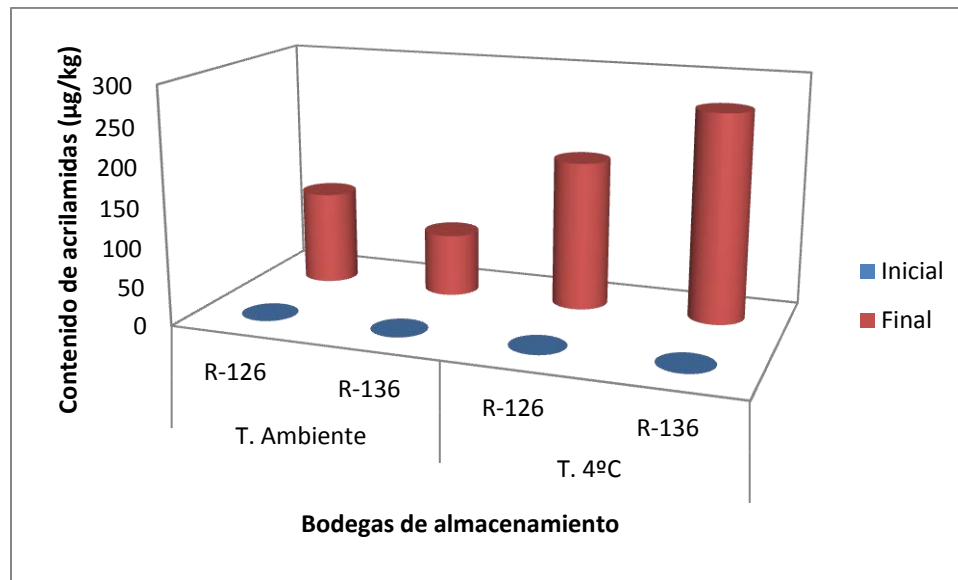


Figura 52. Niveles de acrilamida en papas fritas.

Stadler *et al.* (2002) describieron que pirolisar asparagina, glutamina, metionina o cisteína con una cantidad equimolar de fructosa, galactosa, lactosa, sacarosa o todos, conduce a una importante liberación de acrilamida con rendimientos comparables para cada azúcar. Yoshihiro *et al.* (2003) investigaron la correlación de los niveles de asparagina en los tubérculos y los niveles de acrilamida en las papas fritas “chips”. Encontrando un incremento de hasta 10 veces en los niveles de acrilamidas causados por un cambio en el total de aminoácidos y niveles de asparagina. En tubérculos de papas, las concentraciones de asparagina están presentes relativamente en exceso en comparación con el contenido de azúcares reductores y representan un factor limitante en la formación de acrilamida, por lo que determinan también la formación de acrilamida en los productos de papa (Amrein *et al.*, 2003; Amrein *et al.*, 2004; Becalski *et al.*, 2004; De Wilde *et al.*, 2006). Chie *et al.* (2006) mencionaron que cuando los niveles de azúcares reductores son más del doble que los niveles de asparagina, éste último en lugar del contenido de azúcares reductores, es el factor limitante para la formación de acrilamidas. Becalski *et al.* (2004) reportaron que la correlación entre los componentes de los tubérculos de papas y los niveles de acrilamidas en las papas fritas “chips”, incrementa significativamente cuando el contenido de azúcares reductores se encuentra en conjunto con la asparagina. Todo lo anterior sugiere que las papas almacenadas a temperatura ambiente pudieron no haber presentado mayores contenidos de azúcares reductores que las almacenadas por



debajo de los 4°C, pero sí contenidos considerables de asparagina que conllevaron a la formación de acrilamidas.

Según Moreno *et al.* (2007), los principales azúcares contenidos en los tubérculos de papa son la glucosa, fructosa y sacarosa. Yoshihiro *et al.* (2003) mencionaron que la formación de acrilamida en la práctica, difiere con los diferentes tipos de azúcares, ya que la velocidad de la reacción de Maillard depende significativamente de los tipos de azúcares. Badui (2006) menciona que durante el freído de las papas la fructosa favorece más la reacción de Maillard que la glucosa, pero Yoshihiro *et al.* (2003) encontraron una fuerte correlación de acrilamida con el contenido de glucosa. Lo cual justifica las diferencias en cuanto a niveles de acrilamida para las papas almacenadas a ambas temperaturas y procedentes de las dos bodegas. Estas pudieron haber presentado diferentes tipos de azúcares reductores y en diferentes concentraciones cada uno.

Gokmen y Senyuva (2006) y Pedreschi *et al.* (2005) demostraron una relación entre la generación de color y los niveles de acrilamida durante el calentamiento, encontrando correlaciones lineales entre el oscurecimiento no enzimático de las papas fritas “chips” con respecto al contenido de acrilamida a temperaturas de freído semejantes a las empleadas en este estudio (120, 150, 180°C). En el presente trabajo se encontró que las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C presentaron una coloración café-marrón al ser freídas y además mostraron la mayor disminución en los parámetros de Luminosidad y Tonalidad; presentando de igual manera los mayores niveles de acrilamida en estas condiciones. Akiko *et al.* (2005) y Chie *et al.* (2006), también encontraron una fuerte correlación con respecto al contenido de acrilamida y la luminosidad de las papas fritas, tendiendo a aumentar estos posibles carcinógenos conforme menor sea el valor de L.

Las concentraciones medias de acrilamida encontradas en papas fritas “chips” van de 399-1202 µg/kg según las FAO/WHO (2011). Sin embargo, fuentes como De Wilde *et al.* (2006) reportan niveles de 3000µg/kg a 30 días de almacenamiento a 4°C; Gokmen y Senyuva (2006) encontraron niveles de 6000 µg/kg a tiempos de freídos de 2min; Yoshihiro *et al.* (2003) reportaron niveles de acrilamida de hasta 30000 µg/kg, mientras que Chie *et al.* (2006) niveles mayores de 47800 µg/kg. Los niveles encontrados en el presente estudio (190 y 265 µg/kg), de papas fritas “chips” elaboradas a partir de papas



en fresco almacenadas a temperaturas por debajo de 4°C, se encuentran muy por debajo de estos valores mencionados.

A pesar de que la DL_{50} de la acrilamida, se encuentra entre valores de 159 a 300 mg/kg. La OMS estableció que la Ingesta Diaria Tolerable (IDT) es de 12 µg/kg de peso corporal al día. Por lo que los niveles encontrados en este estudio sobrepasan la ingesta media y representan un problema de inocuidad para papas fritas destinadas a consumo.

Diversas estrategias se han evaluado para reducir la incidencia a la formación de acrilamidas, entre esas está el blanqueado (Medeiros *et al.*, 2011). Pedreschi *et al.* (2007) encontraron que bajas temperaturas de freído y un blanqueado previo al tratamiento de freído, disminuyeron drásticamente el contenido de acrilamida en papas fritas “chips”. Wicklund *et al.* (2006) encontraron que el blanqueado previo al freído, redujo la concentración de asparagina y los azúcares reductores y según sugiere Pedreschi *et al.* (2007) esto es debido a la lixiviación de los azúcares reductores y la asparagina durante la inmersión de las rebanadas de papas en el agua caliente del blanqueado. Por lo que, un blanqueado como pre-tratamiento podría ayudar a reducir la incidencia a la formación de acrilamidas en las papas fritas “chips”.

CONCLUSIONES





CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos del presente trabajo se concluye lo siguiente:

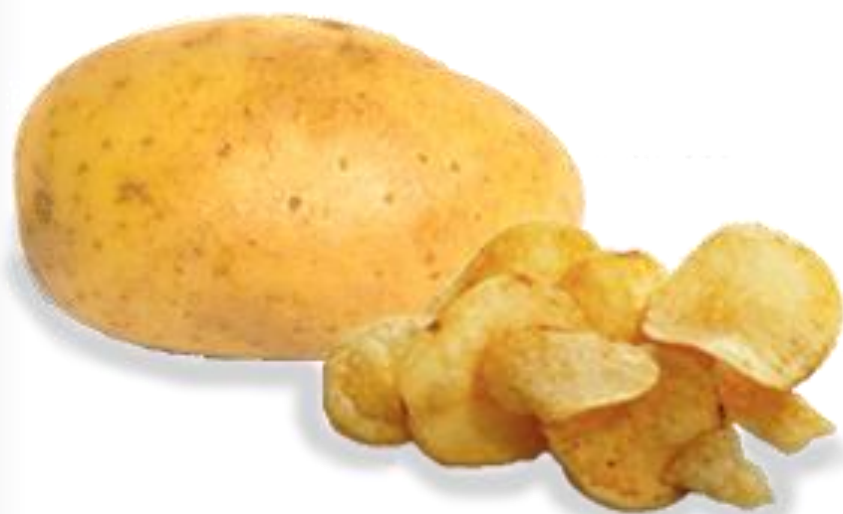
- La bodega de procedencia de la variedad Atlantic presentó un efecto sobre la pérdida de peso, incidencia de brotes y gravedad específica, debido principalmente a que a cada bodega arribaron papas de diferentes regiones de cultivo.
- La pérdida de peso e incidencia de brotes en papas estuvo relacionado con las condiciones de almacenamiento desde la bodega de la Central de abastos, por efecto de los daños mecánicos ocasionados por acomodo de estibas; y las condiciones de almacenamiento posterior por efecto de la humedad relativa.
- La variedad de la papa („Fianna“ y „Atlantic“) afectó la pérdida de peso e incidencia de brote durante el almacenamiento; pero no se detectó una influencia en los cambios en el contenido de azúcares reductores.
- Las temperaturas de almacenamiento por debajo de los 4°C, influyeron directamente sobre la degradación de almidón y acumulación de azúcares reductores para las papas variedad „Fianna“ de las dos bodegas de procedencia estudiadas. El contenido de azúcares detectado no fue el adecuado para las papas destinadas a procesamiento. En cuanto a los sólidos totales y la gravedad específica, la temperatura de almacenamiento no influyó. Sin embargo, los valores obtenidos de contenido de almidón, sólidos totales y gravedad específica de las papas almacenadas a temperatura ambiente son de calidad para destinarlas a procesamiento como papas fritas “chips”.
- Al ser almacenadas las papas a temperaturas por debajo de 4°C, se observó una relación entre el contenido de azúcares reductores y la tonalidad y luminosidad de las papas fritas “chips”. Además se presentó diferencia con respecto a la bodega de procedencia. A pesar de esto, los parámetros de color obtenidos a estas temperaturas no son de calidad puesto que son totalmente inaceptables para



consumo. La temperatura de almacenamiento no influyó sobre el contenido de grasa en las papas fritas “chips”.

- El análisis sensorial mostró una diferencia en cuanto a los parámetros evaluados, para las papas de las dos bodegas de distintas procedencia, cuando las papas en fresco fueron almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C.
- Las papas almacenadas a temperaturas por debajo de los 4°C presentaron los mayores niveles de acrilamida en papas fritas “chips”, presentando el mayor nivel aquellas que poseían la mayor concentración de azúcares reductores. Los niveles de acrilamida encontrados en este estudio se encuentran muy por debajo de los niveles aceptables; sin embargo, sobrepasan la ingesta media, por lo que representan un problema de inocuidad para papas fritas destinadas a consumo.

RECOMENDACIONES





RECOMENDACIONES

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se recomienda para estudios posteriores:

- ✓ Evaluar el efecto de la variedad procedente de las mismas regiones para asegurar condiciones climáticas y de cultivo y evitar factores externos que pudiesen afectar esta evaluación.
- ✓ Evaluar la tasa de respiración de los tubérculos de papa durante el almacenamiento a altas temperaturas como parámetro para corroborar la pérdida de peso.
- ✓ Un control adecuado de la humedad relativa de almacenamiento para evaluar el efecto de las temperaturas de almacenamiento y de las condiciones de almacenamiento en bodegas de la central de abastos sobre la pérdida de peso e incidencia de brotes.
- ✓ Los parámetros de color y el contenido de grasa están fuertemente influenciado por las temperaturas de freído y el espesor de las rebanadas de papas, por lo que se recomienda manejar diferentes condiciones de freído y diferentes espesores de rebanadas, que además pueden incidir sobre los niveles de acrilamidas.
- ✓ Evaluar el efecto de diferentes tipos de pre-tratamientos o estrategias para la reducción de acrilamidas, como el blanqueado previo al freído y además diferentes condiciones de estas.
- ✓ Cuantificar el contenido de aminoácidos libres y correlacionarlos con los contenidos de azúcares reductores, almidón, sólidos totales, gravedad específica y contenido de grasa y formación de acrilamidas.

REFERENCIAS



**REFERENCIAS**

Abeygunawardena, D.V., Caesar, K. De Vaz, C.R. (2011). Factors affecting storage losses and the dormancy period of potato. Consultado en 05 agosto, 2011. Disponible en: http://www.goviya.lk/agri_learning/potato/research/shashya/pdf/Ag12.pdf

Akiko, O.T., Chie, M.E., Yoshihiro, C., Hiroshi, O., Hiroshi, Y., Mitsuru, Y., Akira, K., Shogo, T., Shigenobu, T., Takahiro, N., Hiroaki, Y., Motoyuki, M. (2005). Change in Content of Sugars and Free Amino Acids in Potato Tubers under Short-Term Storage at Low Temperature and the Effect on Acrylamide Level after Frying. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry Journal*, 69(7): 1232-1238.

Amir, J., Kahn, V., Unterman, M. (1977). Respiration, ATP level and sugar accumulation in potato tubers during storage at 4°C. *Phytochemistry Journal*, 16(10): 1495-1498.

Amrein, T. M., Bachmann, S., Noti, A., Biedermann, M., Barbosa, M. F., BiedermannBrem, S. (2003). Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: A comparison of cultivars and farming systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 5556–5560.

Amrein, T.M., Schiönbochler, B., Rohner, F., Lukac, H., Schneider, H., Keiser, A., Escher, F., Amada, R. (2004) Potential for acrylamide formation in potatoes: data from the 2003 harvest. *European Food Research and Technology*, 219: 572-578.

Amrein, T.M., Andres, L., Schönbächler, B., Conde Petit, B., Escher, F., Amadò, R. (2005). Acrylamide in almond products. *European Food Research and Technology*, 221(1-2):14-18.

AOAC (1990). *Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.

Ariyanayagam, D.V. (1958). Variety and cultural trials with potatoes. *The Tropical Agriculturist*, 94 (4): 115-123.



ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2009). ToxFAQs. Acrylamide. Atlanta, G.A. Consultado 12 enero, 2011. Disponible en http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts203.html

Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. (4ª ed.). Pearson Educación. México.

Barclay, G.M., McNair, L.E. (1974). A study to determine the weight loss in Kennebec and Netted Gem potatoes stored under ideal conditions. New Brunswick. Dept. Agric. And Rural Development.

Barreiro Perera, M. (1998). La papa en México, un cultivo con potencialidad. Claridades Agropecuarias (57): 1-15.

Becalski, A., Lau, B., Lewis, D., Seamon, S.W., Hayward, S., Sohagian, M., Ramesh, M., Leclera, Y. (2004). Acrylamide in french fries: Influence of free aminoacids and sugars. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 52(1): 3801-3806.

Bergonzi, R. (2010). Importancia del peso específico de la papa en la industria procesadora. Argenpapa. Balcarce, Argentina. Consultado 04 diciembre, 2010. Disponible en <http://www.argenpapa.com.ar/default.asp?id=182>

Biedermann, M., Grundbock, F., Fiselier, K., Biedermann, S., Burgi, C., Grob, K. (2010). Acrylamide monitoring in Switzerland, 2007–2009: Results and conclusions. Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment, 27: 1352–1362.

Booth, R.H., Shaw, R.L. (1990). Principios de Almacenamiento de Papa. International Potato Center. Lima, Perú.

Burton, W.G. (1955). Biological and economic aspects of the refrigerated storage of potatoes. Proc Inst RetTig, 51: 168-172.

CAMAGRO. Camara Agropecuaria y Agroindustrial de El Salvador. (2005). Manual del Manejo Postcosecha de Frutas y Hortalizas. El Salvador.



Capuano, E., Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *Food Science and Technology*, 44 (4): 793-810.

Carpenter, R.P. (2000). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. Acribia, S.A. España.

Chie, M.E., Akiko, O.T., Yoshihiro, C., Hiroshi, O., Hiroshi, Y., Mitsuru, Y., Akira, K., Shogo, T., Shigenobu, T., Takahiro, N., Hiroaki, Y., Motoyuki, M. (2006). Effects of Storage Temperature on the Contents of Sugars and Free Amino Acids in Tubers from Different Potato Cultivars and Acrylamide in Chips. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry Journal*, 70 (5): 1173–1180.

Cipotato. Centro Internacional de la papa. (2002). *Manual de las enfermedades mas importantes de la papa en Perú*. Consultado 14 junio, 2011. Disponible en <http://www.cipotato.org/training/Materials/HTorres/ContentsHTorres.asp>

Claus, A., Carle, R., Schieber, A. (2008). Acrylamide en cereal products: A review. *Journal of Cereal Science*. 47: 118–133.

Codex Alimentarius Commission. (2009). (CAC/RCP 67-2009). Code of practice for the reduction of acrylamide in foods.

Coffin, R.M., Yada, R.Y., Parkin, K.L., Grodzinski, B., Stanley, D.W. (1987). Effect of low temperatura storage on sugar concentrations and chip color of certain processing potato cultivars and selections. *Journal of Food Science*, 52 (3): 639-645.

Colman, S.L., Monti, M.C., Divito, S.B., Digilio, A., Feingold, S.E. (2009). Marcadores funcionales asociados al endulzamiento inducido por frío en papas nativas de Argentina. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15(1): 61-65.

Croft, M., Tong, P., Fuentes, D., Hambridge, T. (2004). Australian survey of acrylamide in carbohydrate-based foods. *Food Additives and Contaminants*, 21(8): 721-736.



De Wilde, T., De Meulenaer, B., Mestdagh, F., Govaert, Y., Ooghe, W., Fraselle, S. (2006). Selection criteria for potato tubers to minimize acrylamide formation during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2199–2205.

Dimalla, G.G., Van Staden, J. (1977). Apical dominance and utilization of carbohydrates during storage of potato tubers. *Annals of Botany*, 41: 387-393.

Egúsquiza, B.R. (2000). La papa: producción, transformación y comercialización. International Potato Center. Perú.

EPA 749-F-94-005a. Chemical summary for acrylamide prepared by office of pollution prevention and toxics. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. September 1994.

European Chemicals Bureau, Toxicology and Chemical Substances. Classification and Labelling. (2011). Consultado 06 mayo, 2011. Disponible en <http://ecb.jrc.it/classification-labelling>

Ewing, E.E., Senesac, A.H., Sieka, J.B. (1981). Effects of short periods of chilling and warming on potato sugar content and chipping quality. *American Potato Journal*, 58: 633.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2008). Año Internacional de la Papa. Disponible en: <http://www.potato2008.org/es/index.html>

FAO/WHO, (2011). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Evaluation of certain contaminants in food report from Seventy-second meeting (Rep. No. WHO technical report series; No. 959).

Friedman, M. (2003). Chemistry, biochemistry and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51: 4504-4526.

Gamble, M.H., Rice, P. (1988). The effect of slice thickness on potato crisp yield and composition. *Journal of Food Engineering*, 8 (1):31-46.



Gökmen V., Senyuva H.Z., Acar J., Sarioglu K. (2005). Determination of acrylamide in potato chips and crisps by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1088: 193–199.

Gökmen, V., Senyuva, H.Z. (2006). Study of color and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry*, 99(2): 238-243.

Hammond, J.B.W., Burrell, M.M., Kruger, N.J. (1990). Effect of low temperature on the activity of phosphofructokinase from potato tubers. *Planta*, 180(3): 613-616.

Hasbún, J., Esquivel, P., Brenes, A., Alfaro, I. (2009). Propiedades fisicoquímicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agronomía Costarricense*, 33 (1): 77-89.

Hernández Jabalera, S. (2000). La industria de Papa en México: Un Diagnóstico de la Situación Actual. International Potato Center. México.

Hertog, M.A.T.L., Tijskens, L.M.M., Hak, P.S. (1997). The effect of temperatura and senescence on teh acumulation of reducing sugars during storage of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers: A mathematical model. *Postharvest Biology and Technology*, 10(1): 67-79.

IARC. International Agency for Research on Cancer. (1994) Some industrial chemicals. Monographs on the evaluation of carcinogens risk of chemical to humans. Lyon, France.

Ibáñez, F.C. y Barcina, Y. (2001). *Análisis Sensorial de Alimentos: Métodos y Aplicaciones*. Editorial Springer. Barcelona

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). Climatología. Consultado 21 de septiembre, 2011. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/default.aspx>



INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Gobierno de Chile. (2002). Pudriciones de la Papa. Consultado 04 de junio, 2011. Disponible en <http://www.inia.cl/medios/quilamapu/pdf/informativos/info58.pdf>

Jaspreet, S., Lovedeep, K. (2009). *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Academic Press. United Kingdom.

Johnson, F.B., Hoffman, I., Petrasovitz, A. (1968). Distribution of mineral constituents and dry matter in the potato tuber. *American Potato Journal Research*. 45: 287-292.

Knowles, N.R., Driskill, E. P., Knowles, L., O. (2009). Sweetening responses of potato tubers of different maturity to conventional and non-conventional storage temperature regimes. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1): 49–61.

Konings, J.M., Baars A.J., Van, J.D., Spanjer, M.C., Rensen, P.M., Hiemstra, H., Van, J.A., Peters, W.J. (2003). Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food and Chemistry Toxicology*, 41: 1569-1579.

Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48(3): 219-225.

Knutsen, S. H., Dimitrijevic, S., Molteberg, E. L., Segtnan, V. H., Kaaber, L., Wicklund, T. (2009). The influence of variety, agronomical factors and storage on the potential for acrylamide formation in potatoes grown in Norway. *Food Science and Technology*, 42: 550–556.

Laza, M., Scanlon, M.G., Mazza, G. (2001). The effect of tuber pre-heating temperature and storage time on the mechanical properties of potatoes. *Food Research International*, 34: 659–667.

Lohr, S.L. (2000). *Muestreo: Diseño y análisis*. International Thomson Editores. México.

LoPachin, R.M. (2004). The changing view of acrylamide neurotoxicity. *Neurotoxicology*, 25(4): 617-630.



Lowry, O., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal Biology and Chemistry*, 193:265-275.

Lu, B.S. (1988). *Commercial Vegetable Processing*. Van Nostrand Reinhold. Mew York.

Martínez, H.C., Alemán, P.R. (2006). Papa (*Solanum tuberosum* Sw), cosecha, beneficio, y almacenamiento, Caso cubano. *Centro Agrícola*, 32 (3): 5-11.

McGarry, A., Hole, C. C., Drew, R. L., Parsons, N. (1996). Internal damage in potato tubers: a critical review. *Postharvest Biology and Technology*. 8 (4): 239-258.

Medeiros, R., Mestdagh, F., De Mealenaer, B. (2011). Acrylamide formation in fried potato products. Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, En Prensa. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461101096X>

Meza, V.I. (2009). Avanza validación de genotipos europeos de papa que superen productividad de variedad Alpha. Sinaloa, México. Consultado 5 de mayo, 2011. Disponible en http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=article&catid=37:sinaloa-produce&id=362:buscan-aumentar-rendimiento-de-papa-en-20&Itemid=373

Miller, L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31: 426-428.

Mondoñedo, J.R., Kirchner, F., Atilano, M.T., Medina, J. (1983). *Manuales para educación agropecuaria. Papas*. Trillas. México.

Montaldo, A. (1984). *Cultivo y Mejoramiento de la Papa*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

Morales, F.J., Rufián Henares, J.A., Jiménez Pérez, S. (2005). Incidencia de acrilamida en patatas fritas comercializadas en la comunidad de Madrid. *Alimentaria*, 367: 30-35.



Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., Cuadrado, C. (2004). Tablas de Composición de Alimentos. Ediciones Pirámide. Madrid

Moreno, J.D. (2000). Boletín de la papa. Calidad de la papa para usos industriales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2:1-7.

Moreno, J.D., Fierro, L.H., Herrera, C.A. (2000). Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual Técnico. CORPOICA. Bogotá.

Moreno, I. M., Rubio, C., Gutierrez, A. J., Caemán, A. M., Hardissón de la Torre, A. (2007). La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión. Revista de Toxicología, 24 (1): 1-9.

Motes, J.E., Greig, J.K. (1970). Specific gravity, potato chip color and tuber mineral content as affected by soil moisture and harvest dates. American Potato Journal 47 (1): 413-418.

Mucci, L.A., Dickamn, P.W., Steinbeck, G., Adami, H.O., Augustsson, K. (2003). Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney and bladder: absence of an association in a populationbased study in Sweeden. British Journal of Cancer, 88: 84-89.

Myhre, D.L. (1959). Factors affecting specific gravity of potatoes. Florida Agricultural Experiment Station Journal, 990: 202-204.

NCTR. National Center for Toxicological Research. (2008). Cancer bioassays for acrylamide and its mutagenic metabolite, glycidamide. Consultado 06 mayo, 2011. Disponible en <http://www.fda.gov/AboutFDA/CentersOffices/NCTR/WhatWeDo/NCTRPublications/ucm171649.html>

NMX-FF-022-SCFI-2002. Productos Alimenticios No Industrializados Para Uso Humano Tubérculo - Papa (*Solanum Tuberosum*, L) – Especificaciones Y Método De Prueba. Norma Mexicana.



NMX-F-090-S-1978. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos. Norma Mexicana.

NOM-002-SCFI-1993. Productos preenvasados-contenido neto tolerancias y métodos de verificación. Norma Oficial Mexicana.

NOM-086-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Alimentos y Bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. Norma Oficial Mexicana.

Nourian, F., Ramaswamy, H. S., Kushalappa, A. C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 36(1): 49-65.

NTP-CERHR Monograph on the potential human reproductive and developmental effects of acrylamide (2005) NIH Publication: 05-472.

OEIDRUS. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo rural Sustentable. (2009). Producción de semilla de papa en Baja California. Consultado 08 julio, 2011. Disponible en http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca/Estudios/Agricolas/DocumentoPAPA.pdf.

Ohad, I., Friedberg, I., Neeman, Z. Schramm, M. (1971). Biogenesis and degradation of starch. I. The fate of the amyloplast membranes during maturation and storage of potato tubers. *Plant Physiology*, 47: 465-471.

Olsson, K., Svensson, R., Roslund, C. A. (2004). Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: Variation by variety, year, storage temperature and storage time. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 447–458.

OMS. Organización Mundial de la Salud. (2002) Health Implications of acrylamide in food. Report of a joint FAO/WHO Consultation, 25-27 June (Geneva:WHO).



Otles, S. (2004). Acrylamide in food-formation of acrylamide and its damages to health. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 7(2): 289-293.

Pedrero F., Daniel L., (1989). *Evaluación Sensorial de los Alimentos: Métodos Analíticos*. Editorial Alhambra. México.

Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K., Granby, K. (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38(1): 1-9.

Pedreschi, F., León, G., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79(3): 786-793.

Pedreschi, F., Cocio, C., Moyano, P., Troncoso, E. (2008). Oil distribution in potato slices during frying. *Journal of Food Engineering*, 87 (2): 200–212.

Pedreschi, F., Segtnan, V.H., Knutsen, S.H. (2010). On-line monitoring of fat, dry matter and acrylamide contents in potato chips using near infrared interactance and visual reflectance imaging. *Food Chemistry*, 35 (7): 616–620.

Repetto, M. (1995). *Toxicología avanzada*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España.

Ritchey, J. (2005). *Estadística para las ciencias. El potencial de la imaginación estadística*. McGraw Hill. México.

Rodríguez Galdona, D., Ríos Mesa, E.M. (2010). Amino acid content in traditional potato cultivars from Canary Islands. *Journal of Food Composition and Analysis*. 23 (2): 148-153.

Rudén, C. (2004). Acrylamide and cancer risk-expert risk assessments and the public debate. *Food and Chemistry Toxicology*, 42: 335- 349.

Ryall, A. L., Lypton, W. J. (1979). *Handling, transporting and storage of fruits and vegetables*. 2nd ed. Vol. 1. AVI Publishing Company. Westport, Connecticut.



SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2011). Papa. Disponible en: <http://www.papa.gpb.mx/index.php?portal=papa>

Santiago Cruz, M.J. (2001). Economía de la Agroindustrialización de la papa en México. Revista Latinoamericana de la Papa. Volúmen Especial: 21-43.

Senyuva, H.Z., Gokmen, V. (2005a) Study of acrylamide in coffee using an improved liquid chromatography mass spectrometry method: Investigation of colour changes and acrylamide formation in coffee during roasting. Food Additives and Contaminants, 22(3): 214-220.

Senyuva, H.Z., Gokmen, V. (2005b). Survey of acrylamide in Turkish foods by an in $\mu\text{g}/\text{kg}$ house validated LC-MS method. Food Additives and Contaminants, 22(3): 204-209.

Serpen, A. y Gökmen, V. (2009). Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color. Journal of Food Composition and Analysis. 22(6): 589-595.

Shaw, R., Booth, R. (1987). Simple processing of dehydrated potatoes and potato starch. International Potato Center. Lima, Perú.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2007). Producción Nacional de la Papa. SAGARPA. México. Consultado 24 Noviembre, 2010. Disponible en <http://www.papa.gob.mx/index.php?portal=papa>

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2010). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Papa. SAGARPA. México. Consultado 30 Septiembre, 2011. Disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350

Smith, D.S. (1997). Processing Vegetables. Science and Technology. Techomic Publishing. Suiza.



SNT. Report from the Scientific Committee of the Norwegian Food Control Authority. (2002) Risk assessment of acrylamide intake from foods with special emphasis on cancer risk.

Sonnewald, V. (2001). Control of potato tuber sprouting. Trends in plant science, 6(8): 333-335.

Spychalla, J.P., Desborough, S.L. (1990). Fatty acids, membrane permeability, and sugars of stored potato tubers. Journal of Plant Physiology, 94(3): 1207-1213.

Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, M.C., Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard reactions products. Nature, 419(1):449-450.

Stadler, R.H., Scholz, G. (2004). Acrylamide: an update on current knowledge in analysis, levels in food, mechanism of formation, and potential strategies of control. Nutrition Review, 62(12): 449-467.

Stark, J. C., Olsen, N., Kleinkopf, G.E., Love, S.L. (2003). Tuber Quality. Potato Production Systems. University of Idaho.

Suslow, T. V., Voss, R. (2009). Papa: (Cultivo temprano inmaduro). Postharvest Technology Research Information Center. University of California. Consultado 01 diciembre, 2010. Disponible en <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/papa.html>

Talburt, W.T., Smith, O. (1987). Potato Processing. Fourth edition. Van Nostrand Reinhold. New York.

Tirilly, Y., Bourgeois, C.M. (2002). Tecnología de las hortalizas. Acribia. Zaragoza, España.

Tritscher, A.M. (2004) Human health risk assessment of processing-related compounds in food. Toxicol Lett, 149: 177- 186.



Viklund, G., Olsson, K., Sjöholm, I., Skog, K. (2008). Variety and storage conditions affect the precursor content and amount of acrylamide in potato crisps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 305–312.

Viklund, G. A. I., Olsson, K. M., Sjöholm, I. M., Skog, K. I. (2010). Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 194–198.

Wicklund, T., Ostlie, H., Lothe, O., Halvor, S., Brathen, E., Kita, A. (2006). Acrylamide in potato crisp. The effect of raw material and processing. *Food Science and Technology*, 39(5): 571-575.

Work, T. M., Kezis, A.S., True, R. H. (1981). Technical Bulletin 103. Factor determining potato chipping quality. Life sciences and agriculture experiment station University of Maine at Orono.

Workman, M., Cameron, A., Fwomey, J. (1979). Influence of chilling on potato tuber respiration, sugar, o-hydroxyphenolic content and membrane permeability. *American Potato Journal*. 56: 277-282.

Yoshihiro, C., Hiroshi, O., Hiroshi, Y., Akiko, O.T., Chie, M.E., Motoyuki, M. (2003). Effects of Physiological Changes in Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.) after Low Temperature Storage on the Level of Acrylamide Formed in Potato Chips. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry Journal*, 67 (5): 1188–1190.

Zhang, Y., Zhang, G., Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods. Review and recent developments. *Journal of Chromatography A*. 1075: 1-21.