

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



**Estudio de variables en la elaboración de frituras de papa
(*Solanum tuberosum*) variedad Atlantic y tratamiento de las aguas
almidonosas generadas**

T E S I S

**Presentada como Requisito Parcial para
obtener el Título de:**

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Presenta:
HUGO JAVIER GONZALEZ SANCHEZ**

BUENAVISTA SALTILLO COAH. MÉXICO

OCTUBRE DEL 2003

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS**

**Estudio de variables en la elaboración de frituras de papa (*Solanum tuberosum*)
variedad Atlantic y tratamiento de las aguas almidonosas generadas**

POR :

HUGO JAVIER GONZALEZ SANCHEZ

T E S I S

**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:**

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA

**M.C. María Hernández González
Presidente**

**Lic. Laura Olivia Fuentes Lara
Sinodal**

**M.C. Xochitl Ruelas Chacón
Sinodal**

**M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Sinodal**

**ING. José Rodolfo Peña Oranday.
Coordinador de la División de Ciencia Animal.**

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA

OCTUBRE DEL 2003

AGRADECIMIENTOS

A mi **Alma Terra Mater** por haberme formado como un ingeniero.

Al **M.C Maria Hernández González** por dirigir la investigación y por todo lo que aprendí de ella, además de su amistad y paciencia.

Al **M.C Xochilt Ruelas Chacón** y **M.C. Oscar Noe Reboloso Padilla** por su importante colaboración en la realización de este trabajo.

A la **Lic. Laura Fuentes Lara** por su valiosa ayuda en la investigación y por toda la confianza y amistad demostrada.

A mis otros profesores del departamento: **Maria de Lourdes Morales Caballero** y **Antonio Aguilera Carbó** por haberme enseñado y formado como un Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

A el **T.L.Q. Carlos Alberto Arévalos Sanmiguel** por su apoyo y amistad brindada en el laboratorio.

A la **T.L.Q. Maria de Jesús Sánchez Velásquez**, por su ayuda, amistad, apoyo y motivación

A **Maricela** por la gran ayuda y su confianza para hacer uso de sus instalaciones.

A **Mildred** por su colaboración en la realización de este trabajo.

DEDICATORIAS

A mis padres **José Luis (+) y Consuelo** por haberme inculcado la ética del trabajo y la superación. Además de sus consejos y cariño.

A mis hermanos **Roberto y María Luisa** por su gran ayuda y motivación

A mis compañeros y sobre todo grandes amigos de la UAAAN: **Alexander Calvo, Francisco Dávila, Rafael Vázquez, Yesica Maro, Cristina Vásquez** por todo el apoyo, confianza y la gran amistad incondicional que siempre me brindaron.

A **Guadalupe Castañeda, Rocío Gómez, Estefanía García, Esther Quijano, Roxana Pérez**, por sus consejos, motivación y apoyo para la culminación de este trabajo, además de su gran amistad y confianza

A mis abuelos **María Luisa Díaz y José Isabel Sánchez** por la motivación y su cariño.

A mis tíos, **Teodoro González, Dolores González, Maru Sánchez, Abraham** por todo el cariño, apoyo y consejos que me han brindado.

A la familia **Arcaz González** por todo el apoyo, el cariño y la confianza que me tienen.

A todos ellos, gracias por formar parte de mi vida y por todo lo que he aprendido de ustedes.

INDICE GENERAL

Agradecimiento	ii
Dedicatorias	iii
Índice de cuadros	viii
Índice de figuras	ix
Índice de gráficas	x
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO 1 OBJETIVOS	1
1.1 Objetivos generales	1
1.2 Objetivos específicos	1
CAPITULO 2 REVISION DE LITERATURA	2
2.1 LA PAPA	2
2.1.1 Origen y distribución	2
2.1.2 Clasificación taxonómica	3
2.1.3 Distribución mundial	3
2.1.4 Distribución en México.	3
2.1.4.1 La producción de papa en México	4
2.1.4.2 Destino de la producción de papa en México	5
2.1.5 Variedades de papa	5
2.1.6 Importancia de la papa en la dieta	7
2.1.6.1 Nutrientes de la papa	7
2.1.6.1.1 Carbohidratos	8
2.1.6.1.2 Compuestos de nitrógeno	8
2.1.6.1.3 Lípidos	8
2.1.6.1.4 Vitaminas	8
2.1.6.1.5 Minerales	9
2.1.6.1.6 Fenoles	9
2.1.6.1.7 Glicoalcaloides	9
2.1.6.1.8 Contenido nutricional de la papa	10
2.1.7 Usos de la papa	10
2.1.8 Las papas fritas	11
2.1.8.1 Historia de las papas fritas	11
2.1.8.2 Parámetros de calidad de papa apta para el freído	12
2.1.8.2.1 Forma y tamaño de la papa	12
2.1.8.2.2 Contenido de materia seca	13
2.1.8.2.2.1 Gravedad específica	13
2.1.8.2.2.2 Contenido de azúcares reductores	14
2.1.8.2.2.2.1 Reacción de Maillard	15
2.1.8.2.3 Almacenamiento de la papa apta para el freído	16
2.1.8.2.3.1 Conservación	16
2.1.8.3 Producto final	17
2.1.8.3.1 El color de las papas fritas	18
2.1.8.3.1.1 Escala Lab	18

2.1.8.3.2	Importancia económica de la producción de papas fritas	18
2.1.8.3.3	Proceso de elaboración de la papa frita	20
2.2	APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS	21
2.2.1	Uso de los residuos orgánicos	21
2.3	EL ALMIDÓN Y SUS CARACTERISTICAS	22
2.3.1	El almidón	22
2.3.1.1	Distribución y obtención.	22
2.3.1.2	Estructura y propiedades de los gránulos de almidón	23
2.3.1.2.1	Estructura y propiedades de la amilosa	23
2.3.1.2.2	Estructura y propiedades de la amilopectina	24
2.3.2	Distintos usos del almidón	25
2.3.3	Almidón dañado mecánicamente	25
2.3.4	Productos derivados del almidón	26
2.4	ENZIMAS EMPLEADAS EN LA HIDRÓLISIS Y SÍNTESIS DEL ALMIDÓN	27
2.4.1	α - Amilasas	28
2.4.1.1	Acción de la α -Amilasa	28
2.4.2	Glucoamilasa	29
2.4.3	Inhibidores	29
2.4.3.1	La transglucosidación	29
2.5	PRODUCTO DE LA REACCIÓN ENZIMÁTICA AMIOLITICA	30
2.5.1	Jarabe de glucosa	30
2.5.1.1	Equivalentes de conversión de glucosa	30
2.5.1.2	Características del jarabe de glucosa	31
2.5.1.3	Usos del jarabe de glucosa	31
2.5.1.4	Precio del jarabe de glucosa	32
2.5.2	Dextrosa	32
2.5.2.1	Usos de la dextrosa	32
2.5.2.2	Precio de la dextrosa	32
CAPITULO 3	MATERIALES Y METODOS	33
3.1	Aparatos y equipos	33
3.2	Materiales	34
3.3	Reactivos	34
3.4	Desarrollo de la investigación	35
3.4.1	ETAPA 1: Recolección de la materia prima	35
3.4.1.1	Características físico-químicas de la papa	35
3.4.2	ETAPA 2: Condiciones para la obtención del producto terminado	36
3.4.2.1	Establecimiento del grosor de las hojuelas de papa	36
3.4.2.2	Determinación del tiempo y la presión del esparado con agua corriente	36
3.4.2.3	Establecimiento del tiempo de freído de las hojuelas de papa	37
3.4.2.4	Determinación del peso de la papa frita	37
3.4.2.5	El color de la papa frita	37

3.4.3	ETAPA 3: Análisis de las aguas almidonosas	38
3.4.3.1	Filtración y cuantificación del almidón	38
3.4.4	ETAPA 4: Degradación de almidón de papa a glucosa mediante enzimas amilolíticas	39
3.4.4.1	Gelatinización	39
3.4.4.2	Licuefacción con α -amilasa	40
3.4.4.3	Conversión de maltosa a glucosa	40
3.4.4.3.1	Cuantificación de almidón en el sistema	40
3.4.4.3.2	Cuantificación de glucosa en el sistema (test enzimático - colorimétrico)	41
3.4.4.3.3	Determinación del tiempo de mayor producción de glucosa	42
3.4.5	El producto final	43
3.4.5.1	Contenido de azúcares totales	43
3.4.5.2	Cantidad de glucosa final	43
3.4.5.3	Determinación del pH	43
CAPITULO 4	RESULTADOS	44
4.1	ETAPA 1: Recolección de la materia prima	44
4.1.1	Tamaño de la papa	44
4.1.2	Forma y defectos	45
4.1.3	Análisis bromatológico	45
4.2	ETAPA 2: Condiciones para la obtención de producto terminado	46
4.2.1	Establecimiento del grosor de las hojuelas de papa	46
4.2.2	Determinación del tiempo y presión de agua del espreado	47
4.2.3	Establecimiento del tiempo de freído de las hojuelas de papa	48
4.2.4	Determinación del peso de la hojuela de papa frita	49
4.2.5	Color de la hojuela de papa frita	50
4.2.5.1	Valores numéricos (escala L,a,b)	50
4.2.5.2	Análisis del color de las hojuelas	54
4.2.5.2.1	Sin tratamiento para quitar exceso de almidón	54
4.2.5.2.2	Tratamientos de 40 PSI	55
4.2.5.2.3	Tratamientos de 50 PSI	55
4.2.5.2.4	Tratamientos de 60 PSI	56
4.3	ETAPA 3: Análisis de aguas almidonosas	57
4.3.1	Filtración	57
4.3.2	Cuantificación de almidón	58
4.4	ETAPA 4: Degradación de almidón de papa a glucosa	59
4.4.1	Almidón presente en el sistema	60
4.4.2	Cantidad de glucosa producida	61

4.5	El producto final	62
4.5.1	Características del producto final	62
4.6	Escalamiento Industrial	63
CAPITULO 5 CONCLUSIONES		64
CAPITULO 6 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		68
APENDICE I		74

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
1	Clasificación taxonómica de la papa	3
2	Principales estados productores de papa en México	4
3	Variedades de papa por región	6
4	Contenido nutricional de la papa	10
5	Parámetros de calidad de papa apta para el freído	12
6	Temperatura de conservación de la papa para hojuela	16
7	Composición nutritiva de las hojuelas de papas fritas	17
8	Valores de producción de diversos productos	19
9	Composición de varios gránulos de almidón	23
10	Fuentes de obtención de α amilasas y glucoamilasas	27
11	Equivalentes de dextrosa en jarabes de glucosa	31
12	Relación de tamaño y cantidad de papas empleadas	44
13	Análisis bromatológico de la papa	45
14	Grosor de las hojuelas de papa	46
15	Rendimiento de producto obtenido por cada tratamiento	50
16	Valores de L (luminosidad) y coordenadas de cromaticidad	51
17	Valor del pH del agua corriente y agua filtrada	57
18	Degradación de almidón y producción de glucosa en relación al tiempo con una concentración de glucoamilasa al 0.15%	60
19	Características del jarabe glucosado	62

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
1	Papa variedad Alpha	6
2	Papa variedad Atlantic	7
3	Amilosa	23
4	Amilopectina	24
5	Diagrama de Cromaticidad	52
6	Hojuela de papa frita sin lavado (freído directo)	54
7	Papa frita con diversos tratamientos de espreado (40/30, 40/40, 40/50 PSI/seg por lado)	55
8	Papa frita con diversos tratamientos de espreado (50/30, 50/40, 50/50 PSI/seg por lado)	55
9	Papa frita con diversos tratamientos de espreado (60/30, 60/40, 60/50 PSI/seg por lado)	56

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica No.		Página
1	Resultado del lavado de las hojuelas de papa con diversos tratamientos de tiempo y presión	48
2	Peso de las hojuelas de papa frita en gramos según el tratamiento aplicado	49
3	Tiempo de freído en hojuelas de papa según el tratamiento empleado	53
4	Cantidad de almidón en aguas de lavado (mg/l) según el tratamiento aplicado	58
5	Cantidad de almidón degradado presente en el sistema con relación al tiempo	61
6	Cantidad de glucosa producida (mg/l) con relación al tiempo	62

RESUMEN

La industria de las botanas ha cobrado gran auge, ya que últimamente se han producido alrededor de 45,261 toneladas de papas fritas por año. La alta producción se debe a que el mercado nacional de frituras representa uno de los más fuertes pues cuenta con un consumidor habitual de frituras que destina proporcionalmente una mayor parte de su ingreso a estos productos que a la adquisición de alimentos básicos.

Para la elaboración de papas fritas se necesitan papas con un bajo contenido de carbohidratos ya que el exceso de éste en la hojuela de papa origina coloraciones indeseadas en el producto final. La papa óptima para la elaboración de papas fritas en México es la variedad Atlantic.

Para eliminar el exceso de carbohidratos susceptibles a caramelización y mejorar el color del producto final, en el presente trabajo de investigación se realizaron 9 tratamientos de eschado con agua corriente a presión; en los cuales se evaluaron distintas presiones (40, 50 y 60 PSI), cada una con diversos tiempos de exposición (30, 40 y 50 seg por lado). Se propone el tratamiento de eschado con agua corriente a una presión de 40PSI/40 segundos por lado, el cual mejora considerablemente el color del producto final (con valores de L desde 47.34 para una hojuela sin tratamiento y de 60 en la hojuela con el tratamiento de eschado) siendo el valor óptimo de L de 60.

Este tratamiento solo disminuye de un 3-5% el rendimiento del producto, dicho valor es bajo comparado con los otros valores utilizados, ya que la integridad de la hojuela se mantiene. Mas sin embargo, las cantidades de aguas almidonosas generadas durante este proceso son altas y al ser vertidas sin tratamientos previos originan graves problemas ambientales.

En esta investigación se planteó una alternativa para disminuir este problema y consiste en realizar un tratamiento de éstas aguas por medio de dos filtraciones (tela muselina y filtro #1) para separar el almidón y posteriormente degradar éste mediante enzimas amilolíticas.

Para efectuar la degradación del almidón se realizó una licuefacción con la α -amilasa originando como productos de reacción maltosa y otros azúcares; posteriormente se empleó la glucoamilasa, la cual toma como sustratos al almidón todavía remanente en el sistema y a la maltosa con el fin de producir jarabe glucosado. Se determinaron los tiempos críticos de mayor producción de glucosa y de disminución de almidón. En los cuales la cantidad de almidón disminuye notablemente a las 3 horas y se mantiene constante hasta las 24 horas, sin embargo esa cantidad es mínima. En cuanto a la glucosa producida, ésta aumenta considerablemente desde la inserción de la glucoamilasa y sigue aumentando hasta llegar a las 8 horas, a las 24 horas disminuye posiblemente debido a la acción de una transglucosidasa que inhibe a la glucoamilasa.

El resultado de esta degradación es un jarabe glucosado con un equivalente de dextrosa (ED) de 42, es decir intermedio. Este tipo de jarabe es ampliamente utilizado en la

industria de los alimentos para la elaboración de caramelos, dulces, mermeladas, helados, panificación y galletería.

A partir del jarabe glucosado se obtiene la dextrosa mediante una filtración (filtro #1). La dextrosa también tiene muchos usos tanto farmacéuticos (elaboración de comprimidos, sueros) y alimenticios (refrescos, jugos, dulces, mermeladas, productos cárnicos).

El costo del jarabe glucosado oscila entre los 300-400 dólares por tonelada, según el equivalente de dextrosa del mismo, el de la dextrosa común es de alrededor de 400-500 dólares por tonelada y la de uso farmacéutico de 700-1200 dólares por tonelada.

INTRODUCCION

En un proceso general de elaboración de un alimento se generan residuos orgánicos. En función de la operación, éstos residuos pueden generarse como sólidos, o bien pueden eliminarse fragmentos de sólidos orgánicos junto con el agua empleada, en algunos casos pueden considerarse como subproductos si es que son aprovechables para elaboración de otros productos.

Sin embargo existe una fracción importante que va al vertedero y contribuye a aumentar el grave problema de la contaminación ambiental. Para contribuir a la sostenibilidad del medio y satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer a las futuras, se hace necesario recuperar en lo posible estos residuos.

Durante la elaboración de papas fritas, existe una etapa en la cual se generan residuos orgánicos, los cuales pueden ser aprovechados como subproductos. Éstos residuos son las cáscaras de papa y las aguas almidonosas, éstas últimas fueron utilizadas en el presente estudio.

Además, en éste proceso, el exceso de almidón en las hojuelas presenta un inconveniente ya que origina coloraciones indeseables durante el freído, resultado de la caramelización del mismo (reacción de Maillard). Los compuestos originados son altamente tóxicos, por lo que es de gran importancia tanto sensorial como toxicológicamente prevenir la producción de éstos compuestos.

Un tratamiento de espreado a presión con agua corriente en las hojuelas elimina el exceso de almidón pero genera aguas residuales con alto contenido de éste, el cual al ser recolectado mediante un proceso de filtración puede ser aprovechado en la industria alimenticia como aditivo en numerosos alimentos (sopas, salsas, panadería, mayonesas, etc.) y como materia prima en la elaboración de glucosa, fructosa y jarabes glucosados.

También la obtención del jarabe glucosado se logra a partir del almidón mediante la adición de enzimas amilolíticas (α -amilasa y posteriormente glucoamilasa). El producto final tiene un ED de 42 con numerosas aplicaciones en la industria alimentaria. A partir de éste jarabe glucosado se obtiene la dextrosa monohidratada mediante una filtración simple (filtro #1), la cual es blanca, se comercializa en polvo y tiene aplicaciones tanto en la industria farmacéutica (sueros, comprimidos) como en la alimenticia (refrescos, jugos, etc.).

CAPITULO 1

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Estandarizar las condiciones de lavado por esparado de las hojuelas de papa y aprovechar las aguas almidonosas generadas en dicho proceso.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el grosor de las hojuelas de papa
- Determinar el tiempo y presión del esparado con agua corriente en función del color después del freído
- Determinar el tiempo de freído de las papas fritas
- Cuantificar el almidón presente en las aguas de lavado de las hojuelas de papa
- Degradar el almidón de papa mediante enzimas amilolíticas
- Determinar la cantidad de glucosa producida
- Determinar el tiempo de mayor producción de glucosa

CAPITULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA PAPA

2.1.1 Origen y distribución

La papa (*Solanum tuberosum*) es originaria de América, específicamente de la región 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. En el caso de Perú, se considera que los incas cultivaban esta hortaliza desde hace 2,000 años, lo que habla de la tradición de este producto en las culturas indígenas del continente. Posteriormente con la llegada de los españoles el cultivo se extendió, llegando a Europa en el año de 1537 (Claridades Agropecuarias, 1998).

Durante la Revolución Industrial, emergieron en Alemania e Inglaterra los procesos de deshidratación para producir bastones de papa. En el siglo XIX emergió la fermentación del almidón de papa para obtener alcohol y fabricar harinas de almidón además de la producción de hojuelas de papa frita. En el siglo XX las necesidades de las guerras mundiales originaron una tecnología rápida para el secado y esto dio lugar a la producción de puré de papa por su fácil preparación. Las tendencias recientes en tecnología y empleo se concentran en productos deshidratados, incluyendo harina de papa, hojuelas, purés y otros productos congelados, alcohol (Dodge, 1970).

2.1.2 Clasificación Taxonómica

NOMBRE COMUN	<i>Papa</i>
NOMBRE CIENTÍFICO	<i>Solanum tuberosum</i>
CLASE	<i>Angiospermae</i>
SUBCLASE	<i>Dicotyledoneae</i>
ORDEN	<i>Tubiflorae</i>
FAMILIA	<i>Solanaceae</i>
GENERO	<i>Solanum</i>
ESPECIE	<i>Tuberosum</i>

Cuadro No.1. Clasificación taxonómica de la papa (*Solanum tuberosum*)

2.1.3 Distribución Mundial

Existen muchos países que siembran la papa como cultivo principal. La papa está ampliamente distribuida en: México, Perú, Chile, Colombia, Estados Unidos de América, Bolivia, Ecuador, Canadá, España, Irlanda, Portugal, Inglaterra, Alemania, Francia, Japón, África, Sudáfrica, Noruega, Suecia, etc. (Woodbury & Kraus, 1975).

2.1.4 Distribución en México

Las principales zonas productoras son: Sinaloa, Sonora, Edo. México, Chihuahua, Michoacán, Guanajuato y en menor cantidad Hidalgo, Nayarit entre otros. (INIFAP, 1997)

ESTADO	TONELADAS
Sinaloa	282,416

Sonora	175,619
México	173,986
Chihuahua	164,928
Michoacán	148,441
Guanajuato	126,618

Cuadro No. 2. Principales estados productores de papa en México (SAGARPA, 2001)

2.1.4.1 La producción de papa en México

La papa es una de las principales hortalizas que se produce en México. Por la diversidad de climas y suelos en nuestro país, el tubérculo se siembra y cosecha en 25 estados de la República, en tres ciclos agrícolas: invierno-primavera, primavera-verano y otoño-invierno, la mayor parte de la siembra (80 %) se hace en el ciclo primavera-verano. Su producción en los últimos años ha venido abarcando una superficie de alrededor de 70 mil has., con una producción del orden de 1,200,000 tons. Las principales variedades de papa que se siembran en México ocupan la siguiente superficie: 42% Alpha, 18% Rosita, 12.5% Marciana, 7.5% Atlantic y 6% San José (CONPAPA, 1994).

2.1.4.2 Destino de la producción de papa

Hay 3 posibles mercados para la papa: *el mercado en fresco, el industrial y el de semilla*. El *mercado fresco* es el que abarca la mayor parte de la producción de papa del país. Del

mercado industrial se obtienen ciertos subproductos como: la fécula, el almidón, las harinas, los purés y las frituras. El uso más importante es en la industria de las botanas para la fabricación de papas fritas, la cual representa el 90% de la papa que se industrializa (CONPAPA, 1999).

Para 1999 la distribución del consumo de papa según destino fue la siguiente : el 80% de la oferta se destinó al consumo directo de la población humana, el 7.5% fue procesado por la industria productora de papas fritas, el 9.8% se utilizó como semilla y el restante 3.1% se perdió por mermas en el proceso de comercialización del producto (INEGI, 1999).

En los países industrializados la papa procesada ya llega al 80%; en los países en desarrollo varia desde 5% a 20%. En México, se industrializa el 7.5 % del total de la papa producida (INEGI, 1999).

2.1.5 Variedades de papa

En nuestro país se siembran tubérculos en diferentes zonas, por tal motivo existen variedades que no se adaptan a ellas y por lo tanto difieren en su contenido nutricional. A continuación se presentan las variedades que se cultivan en cada zona:

Región	Clima	Variedad
Guanajuato, Aguascalientes y Zacatecas.	Templado, con precipitación de 400 a 600 mm	Alpha, Gigant, Mondial, Herta, Granola y Atlantic.

Sinaloa, Sonora y Baja California	Templado, Precipitaciones de 500 a 700 mm	Alpha, Gigant, Granola, Atlantic, White Rose y Diamante.
Michoacán	Templado, precipitaciones de 600 a 1000 mm	Alpha, Mondial e Ileri.
Coahuila y Nuevo León	Templado, precipitaciones de 300 a 500 mm	Alpha y Atlantic.

Cuadro No. 3. Variedades de papa por región (CONPAPA, 1999)

Existen cientos de variedades de papa a nivel internacional y cada una presenta características especiales que las hacen distintas y específicas según su uso.

Entre las principales variedades que se siembran y que tienen buena capacidad de producción para la elaboración de papas fritas destacan:

- **Alpha:** Los tubérculos son ovalados con cáscara amarilla y pulpa amarilla ligera; presentan un rendimiento alto con gravedad específica media. Su mercado es para uso de mesa y para hervir.



Figura No.1. Papa variedad alpha

- **Atlantic:** Sus tubérculos son redondos, de piel amarilla y pulpa color



crema, piel rugosa y ojos superficiales; con un rendimiento potencial y gravedad específica altos. Tiene características para uso industrial, principalmente de papas fritas (INIFAP, 1997).

Figura No. 2. Papa variedad Atlantic

2.1.6 Importancia de la papa en la dieta

Es sabido que la papa en México, a diferencia de muchos países europeos no es un alimento básico, sino una verdura más de tipo semi-perecedero, cuyos altibajos en los precios impiden la integración de ésta en forma habitual y constante en la dieta del mexicano (Asamblea Nacional Especializada de productores de papa, 1982).

2.1.6.1 Nutrientes de la papa

Los nutrientes de la papa son controlados en su gran mayoría por los genes. Sin embargo factores como la edad, madurez de los tubérculos, el clima, el suelo, las prácticas culturales realizadas durante su cultivo, almacenamiento y procesamiento, ejercen un efecto sobre los nutrientes.

2.1.6.1.1 Carbohidratos

La mayor parte de la materia seca del tubérculo se encuentra en forma de almidón, azúcares y polisacáridos no almidonosos. Representa casi el 24% de su peso, el resto es agua. El 75% de la materia seca de la papa está compuesta por almidón; cuando la papa se consume caliente, el almidón es rápidamente digerido por el organismo; si se consume fría, la digestibilidad del almidón se reduce.

2.1.6.1.2 Compuestos de Nitrógeno

Constituyen el segundo componente de la papa, con un 3 al 15% de la materia seca (estos se incrementan con la madurez del tubérculo). Cerca de la mitad del total del nitrógeno en la papa se deriva de las proteínas. La calidad de las proteínas es alta (aunque es deficiente en metionina, un aminoácido esencial) y su cantidad es comparable con la del arroz y trigo. El valor de la proteína no se afecta significativamente al cocinar la papa, aunque algunos procesos, como: pelar, cortar, envasar y secar tienen un efecto negativo sobre ella.

2.1.6.1.3 Lípidos

El porcentaje de lípidos de la papa en fresco es muy bajo. Tiene contenidos que van del 0.1 al 1 % (Galliard,1973).

2.1.6.1.4 Vitaminas

La papa contiene cantidades significativas de vitamina C (ácidos ascórbico y dehidroascórbico), además de otras vitaminas hidrosolubles, como tiamina y vitamina B6; las vitaminas solubles en aceite están presentes en pequeños trazos. Una papa cocinada pierde del 18 al 24% de vitamina C a través de su pellejo; sin el, la pérdida puede estar entre un 35% - 50%. Aun así, la cantidad de vitamina C que queda luego de cocinarla es alta, y una porción de 150 gr. de papa provee cerca del 40% de los requerimientos diarios de esta vitamina.

2.1.6.1.5 Minerales

Posee potasio, especialmente en la cáscara y cantidades moderadas de fósforo, cloro, azufre, magnesio y hierro.

2.1.6.1.6 Fenoles

La papa contiene un bajo porcentaje de compuestos fenólicos, la mayoría de los cuales se encuentra en la cáscara. Las reacciones de proteínas con carbohidratos, lípidos y fenoles oxidados, causan deterioro de los alimentos durante su almacenamiento y procesamiento. Fuera de esto, hay una pérdida de calidad nutricional y de seguridad, pues se producen compuestos tóxicos.

2.1.6.1.7 Glicoalcaloides

Grandes cantidades de glicoalcaloides pueden causar intoxicación en humanos. Sin embargo, el sabor amargo que le dan estos compuestos a la papa, actúa como un aviso para que no se siga consumiendo. La variedad inglesa Lenape, es la óptima para la elaboración de papas fritas pero esta prohibida por la FDA debido a que contiene alrededor de 300 mg/kg de glicoalcaloides, siendo la máxima cantidad aceptada entre 20 a 100 mg/kg.

Factores como la variedad, prácticas culturales y el clima, inciden en los niveles de glicoalcaloides. Los tubérculos no detienen la producción de glicoalcaloides después de ser cosechados y un manejo inapropiado puede causar un aumento de estos compuestos. El porcentaje de glicoalcaloides puede ser especialmente alto en papas verdeadas. (Lister & Monro, 2000; Lampitt & Goldenberg, 1940; Woolfe, 1987)

2.1.6.1.8 Contenido nutricional de la papa

100 grs	
Energía	80.00 Kcal.
Humedad	76.5 %
Proteína	2.00 grs.
Grasa	0.10 grs.
Carbohidratos Totales	18.50 grs.
Fibra Cruda	1.90 grs.
Ceniza	1.00 grs.

Cuadro No.4. Contenido nutricional de la papa (Augustin, 1975)

2.1.7 Usos de la papa

La papa se consume en una gran diversidad de platillos además de que se obtienen muchos productos como: purés, harina de papa, almidón, papas a la francesa, hojuelas de papa frita y etanol (Chappell, 1958). Las papas fritas son consumidas por muchas personas, principalmente por la gente joven.

2.1.8 LAS PAPAS FRITAS

2.1.8.1 Historia de las papas fritas

Las papas fritas las hizo por primera vez en 1853 un cocinero indo-americano llamado George Crum en un hotel de moda de Saratoga Springs, estado de Nueva York, EEUU. El nuevo plato se preparó para un tal Cornelius Vanderbilt, magnate

ferroviario y cliente extremadamente exigente que se quejaba cuando sus papas no estaban cortadas lo suficientemente finas y las mandaba de vuelta a la cocina. Después de devolverle el plato en varias ocasiones, el cocinero decidió darle una lección al quisquilloso cliente. Entonces, cortó las patatas en rodajas finas y les dió una vuelta en aceite hirviendo hasta que se pusieron crujientes y doradas. En 1920, Frank Smith, que había oído sobre esta nueva forma de cocinar papas, montó su propio negocio en un garaje del norte de Londres, donde las papas se pelaban, cortaban en rodajas y freían en aceite vegetal en un gran horno de gas y luego las metían en bolsas abiertas impermeables a la grasa. Heinz Flessner fue el primer fabricante de papas fritas europeo que tuvo éxito fuera de Inglaterra. En 1951 comenzó su "Stateside Potato Chip Company. Sus clientes eran principalmente soldados americanos estacionados en Alemania. Flessner empaquetaba sus papas en pequeñas bolsas transparentes e impermeables a la grasa. Entonces decidió invitar a sus colegas americanos a visitarle y se convocó una reunión en Frankfurt. También fue la primera de una serie de reuniones de lo que finalmente sería la European Snack Association (ESA) (Dodge, 1970; Talburt, 1967).

2.1.8.2 Parámetros de calidad de papa apta para el freído

Para la producción de papas fritas se cultivan variedades específicas de papas. Como ya se mencionó antes, en México, las mejores variedades para éste tipo de proceso son: ***Atlantic y Alpha***. Las papas deben tener un alto contenido en materia seca y un bajo nivel de azúcares reductores (glucosa), para que éstas

tengan un ligero color amarillo dorado. En el cuadro 5 se muestran los parámetros requeridos por la industria de la papa frita.

Forma de la papa	Redonda u oval
Tamaño	4 – 7 cms
Materia seca	>20 %
Contenido de azúcares reductores	Menos de 0.1%
Gravedad específica	1.090 – 1.120
Temperatura de almacenamiento	10 – 12°C
Enfermedades	Libre

Cuadro No.5. Parámetros de calidad de papa apta para el freído

2.1.8.2.1 Forma y tamaño de la papa

Se utilizan las formas redondas u ovales, ya que son las características morfológicas de las variedades empleadas para el procesamiento de las papas fritas; las cuales se evalúan de acuerdo a una escala de morfología: gigante, primera, segunda, tercera, monos, canicas y desecho o daño mecánico. Deben estar también libres de heridas, rajaduras, verdeamiento, corazón hueco o sarna, resistentes al lavado, y de tamaño uniforme. Todas las características antes mencionadas son indicativo de la buena calidad externa del producto (Smith, & Nash, 1942; Smith 1977).

2.1.8.2.2 Contenido de materia seca

Los componentes más significativos para la industria de procesamiento son los altos contenidos de materia seca y almidón. La determinación del contenido en materia seca y almidón se hace rápidamente mediante el cálculo de la gravedad específica de las variedades (Talbert & Smith, 1967).

2.1.8.2.2.1 Gravedad específica (GE)

Generalmente, la gravedad específica en los tubérculos presenta valores en torno a 1.040 – 1.095 ó 1.120; mientras que el contenido de materia seca puede estar entre 15 a 25%, que son valores muy variables y fuertemente influenciados por las condiciones ambientales y la carga genética de la variedad. La gravedad específica se usa para medir la relación entre la cantidad de materia seca y el agua. Mientras menor sea el contenido de agua, mayor será la

gravidad específica (Porter et al, 1964), por tanto papas con baja gravidad específica necesitan un proceso de freído más costoso, ya que tienen más agua. En consecuencia, más papas tienen que ser procesadas para obtener la misma cantidad de producto; requiriendo un mayor tiempo de freído y como consecuencia la absorción de grasa se incrementará. Smith (1977) encontró que para el procesamiento y la obtención de buenas papas fritas, los sólidos totales, que están directamente relacionados con una GE, son de gran importancia. Los tubérculos con una GE de 1.090 produjeron un 10.5% más papa frita en peso y absorbieron un 22% menos de aceite que las papas con un GE de 1.065.

Así, a mayor contenido en peso seco aumenta la tendencia a formar manchas azules en los tubérculos. Contenidos demasiado altos dan lugar a productos con texturas duras y astillosas; contenidos demasiado bajos dan lugar a productos con grandes deformaciones en la elaboración de las hojuelas. Las exigencias de la industria procesadora por variedades con alto contenido en almidón son consecuencia fundamental de su aplicación en industrias productoras de almidón, o por su relación directa con el contenido en materia seca (60% - 80% de la materia seca es almidón) (Schéele et al, 1937).

2.1.8.2.2 Contenido de azúcares reductores

El contenido en azúcares reductores puede variar desde cantidades muy pequeñas hasta más del 10% del peso seco total del tubérculo. Varía considerablemente de semestre a semestre, de finca a finca y entre variedades. 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 (Schwimmer et al, 1954; Isherwood, 1976). Si el contenido en azúcares reductores es alto, aparece un producto con color marrón oscuro y sabor amargo, dando una impresión de producto “quemado”. Esto debido a una reacción de oscurecimiento no enzimático conocida como reacción de Maillard.

2.1.8.2.2.1 Reacción de Maillard

Es una reacción que se lleva a cabo entre un grupo aldehído o cetona, proveniente de azúcares reductores, y grupos amino de aminoácidos provenientes de las proteínas; los compuestos pigmentados insolubles que se producen se denominan melanoidinas, dándose también otros compuestos volátiles y solubles. Los azúcares reductores que pueden favorecer esta reacción son las aldohexosas como la glucosa y los disacáridos como la maltosa. Entre los aminoácidos el que más fácilmente reacciona es la lisina, seguido de la arginina, el triptófano y la histidina.

Las condiciones físicas son determinantes para que se produzca la reacción; el pH más favorable para el oscurecimiento es el ligeramente alcalino; la actividad del agua desempeña un papel importante en estas reacciones, que están propiciadas para bajos contenidos de la misma, mientras que altos contenidos impedirán que se desarrollen; aunque ya se ha comentado anteriormente que las altas temperaturas no son necesarias, se comprueba que a medida que éstas

aumentan la reacción se ve favorecida. Los compuestos producidos durante esta reacción (oscuros y de sabor “amargo” o a “quemado”) son tóxicos para el consumo humano.

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 (Duplessis et al, 1996).

2.1.8.2.3 Almacenamiento de la papa

2.1.8.2.3.1 Conservación

La conservación de las papas es una etapa muy importante en todo el proceso, ya que limita las pérdidas de peso, impide la brotación y desarrollo de enfermedades y mantiene la calidad de los tubérculos. Para una buena conservación las papas se deben ubicar en locales provistos de ventilación para controlar la temperatura, humedad y contenido en dióxido de carbono. Existen diferentes temperaturas de conservación según la cantidad de meses que se vaya a almacenar el producto. En el cuadro 6 se muestran las temperaturas de conservación y la duración del almacenamiento para papas destinadas a la producción de hojuelas de papa frita.

Producto	Duración de la conservación (meses)	
	2-6	6-10
Hojuelas de papa frita	8-10 °C	6.5-8°C

Cuadro No.6. Temperatura de conservación de la papa para hojuela

El porcentaje óptimo de humedad varía entre el 85 y 90%. Si el periodo de conservación es muy prolongado se emplean productos antigerminativos como naftalén-acetato de metilo, tetracloro-nitrobenzeno entre otros (Burton, 1978; Pacific Northwest Extensión Publication, 1985; Smith, 1977).

El estrés en las papas puede cambiar la madurez fisiológica afectando el contenido de azúcares reductores y peso principalmente. Por ello se emplean las temperaturas de 10 a 12°C para la papa almacenada ya que son mejores que temperaturas de 4 a 5°C, debido que a éstas temperaturas se forman azúcares reductores (glucosa) que contribuyen a producir papas fritas de color oscuro. El reacondicionamiento de las papas almacenadas a estas bajas temperaturas puede hacerse, dejándolas entre 12 y 15°C por dos o tres semanas para mejorar las papas fritas (Pereira et al, 1994; Isherwood, 1976).

2.1.8.3 Producto final

La buena apariencia, textura crujiente, color y sabor agradable son puntos importantes para el gusto del consumidor y a la venta del producto. Para obtenerlas es necesario emplear papas de alta calidad, supervisadas y clasificadas para este tipo de proceso. El producto final es una hojuela delgada, quebradiza y ligeramente salada. Es de color amarillo claro, su forma es cóncava, agradable a la vista y al paladar. En el cuadro 7 se pueden observar los aspectos mas importantes de la composición nutritiva de las hojuelas de papas fritas.

Por cada 100 grs.	
Energía	500 – 600 kcal.
Carbohidratos totales	50 grs.
Grasa	37 grs.

Proteína	6.5 grs.
----------	----------

Cuadro No. 7. Composición nutritiva de las hojuelas de papas fritas

2.1.8.3.1 El color de las papas fritas

El color tiene una relación directa con el contenido en azúcares reductores. En su apariencia externa y evolución, el color debe ser: desde un color blanco-amarillento, (aceptable) pasando por un color amarillo-oro (deseable) hasta un color marrón-negruzco (rechazable), que viene dado por una alta concentración de azúcares reductores (2%) y que hace un producto indeseable en sabor y apariencia.

2.1.8.3.1.1 Escala L^*a^*b

Para medir la coloración de las papas fritas se utiliza la escala L^*a^*b , la cual tiene valores de L, a y b. El valor de L (luminosidad) es el que más se toma en cuenta para medir la calidad del color de la papa frita, ya que indica la intensidad del color. “A y b” son las coordenadas de cromaticidad por lo que tienen una relación muy estrecha en la intensidad de la coloración. Mientras los valores de “a” sean mas altos, el color es mas intenso y en “b” mientras el valor sea menor, el color es menos intenso.

2.1.8.3.2 Importancia económica de la producción de papas fritas

La fabricación de botanas tiene una participación importante en la industria agroalimentaria. En promedio, en el período 1994-1998 el valor de esta clase de alimentos fue poco más de 4500 millones de pesos en 1994, participando con el 4.1% del valor de la producción total. Dentro de esta clase se ubica la producción de papas fritas, las cuales abarcaron más del 20% del valor de la clase.

En relación al volumen de papas fritas producidas se observa que este ha ido en aumento, pues mientras que en 1994 fue de 37.8 mil toneladas, para 1998 ascendió a 55.9 mil toneladas; tal incremento representó un crecimiento anual del 10.2%. La alta producción se debe a que el mercado nacional de frituras representa uno de los más fuertes pues cuenta con un consumidor habitual de frituras que destina proporcionalmente una mayor parte de su ingreso a estos productos que a la adquisición de alimentos básicos.

En el cuadro 8 se puede observar que en el período 1994-1998, el valor generado por la producción de papas fritas fue casi igual al generado por la industria de tratamiento y envasado de leche, menor que la fabricación de aceites y grasas vegetales y mayor que la elaboración de harina de maíz, embutidos de carne y galletas y pastas alimenticias.

Clase	1994	1996	1998	Promedio.
(Millones de Pesos de 1994)				
Total	107,461	114,141	108,114	109,413
Preparación de conservas y embutidos de carne	3,147	3,036	3,163	3,118
Tratamiento y envasado de leche	5,419	5,921	7,040	6,133
Elaboración de crema, mantequilla y queso	3,177	3,174	3,305	3,192
Elaboración de leche condensada, evaporada y en polvo	3,136	3,116	2,930	2,957
Elaboración de harina de maíz	2,492	3,350	2,039	2,530
Elaboración de galletas y pastas alimenticias	2,232	2,639	2,255	2,373
Fabricación de aceites y grasas vegetales comestibles	6,860	8,655	7,175	7,800
Elaboración de concentrados, jarabes y colorantes naturales	3,462	3,633	4,087	3,696
Elaboración de botanas y productos de maíz no mencionados	5,019	4,290	4,603	4,505
Papas fritas (valor)	946	954	1,135	990
Papas fritas (volumen en toneladas)	37,822	42,270	55,321	45,261

Cuadro No. 8. Valores de producción de diversos productos (INEGI)
Encuesta industrial mensual

2.1.8.3.3 Proceso de elaboración de la papa frita

En la elaboración de la papa frita se llevan a cabo diferentes operaciones, tales como un lavado por esparado de la papa, después pasa a una peladora para quitar la cáscara, de ahí pasa a una rebanadora para cortar la papa en hojuelas delgadas; posteriormente se realiza un lavado de las hojuelas mediante aspersion con agua (con el fin de eliminar el almidón excedente y evitar coloraciones oscuras durante el proceso de freído) luego pasa a la freidora, al salir pasan a un tambor sazonador para agregar sal o condimento según el tipo de producto final, después es empacada. Como se mencionó anteriormente el lavado de las hojuelas por aspersion con agua es un proceso muy importante para evitar coloraciones extrañas.

El agua resultante de ésta operación contiene residuos orgánicos que se pueden utilizar para realizar subproductos pero generalmente son vaciados al vertedero. Entonces es posible realizar algunas operaciones para recuperar esos residuos orgánicos y aprovecharlos, ya que causan un grave problema de contaminación.

2.2 APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS

Si bien el agua en sí misma es un medio útil para reducir la posibilidad de contaminación, también puede causarla de forma directa o indirecta. Si se vuelve a usar la misma agua en una serie de procesos, se recomienda que siempre que sea posible se utilice en dirección contraria al movimiento de las frutas y vegetales por las diferentes unidades de procesamiento. Puede volver a usarse en un proceso previo, como en el lavado externo de las papas para eliminar la tierra existente (Costa, 1991). En un proceso general de elaboración de un alimento se generan residuos orgánicos. Se pueden generar como sólidos, o bien pueden eliminarse fragmentos de sólidos orgánicos junto con el agua empleada. En las fases iniciales de lavado y limpieza de materia prima, parte de los residuos son inorgánicos (principalmente tierras). El porcentaje de residuos generado en la elaboración de productos vegetales es muy variable, ya que está determinado por: el tipo de materia prima a procesar, tamaño, forma, partes aprovechables, lo que implica que los niveles de residuos sean distintos en cada caso (Hermida, 1993; Lázaro, 1994; Ostolaza, 1998).

2.2.1 Uso de los residuos orgánicos

Los residuos restantes que quedan tras el máximo aprovechamiento en la industria transformadora también se utilizan con otros fines: alimentación animal, fertilizante y obtención de productos comercializables (Lázaro, 1994; Hermida, 1993).

Como se ha indicado anteriormente la mayor parte de los residuos generados en la transformación de vegetales se destina a alimentación para ganado. Sin embargo existe una fracción importante que va al vertedero y contribuye a aumentar el problema existente de falta de espacio. Para contribuir a la sustentabilidad del medio y satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras, se hace necesario recuperar en lo posible estos residuos (Lázaro, 1994; Ostolaza, 1998).

2.3 EL ALMIDÓN Y SUS CARACTERISTICAS

2.3.1 El almidón

2.3.1.1 Distribución y obtención.

El almidón se encuentra ampliamente distribuido en los mas diversos órganos de las plantas como carbohidratos de reserva. Además los almidones y sus derivados tienen gran aplicación en diferentes ramas de la industria, tales como la alimentaria, textil y papelera.

Los almidones de distinta procedencia tienen características diferentes y distintivas en cuanto a forma, distribución de tamaños, composición y cristalinidad de los granos. En el caso de la papa, los gránulos de almidón se encuentran libres en el interior de la célula, de tal modo que su aislamiento es un proceso sencillo (Badui, 1996).

2.3.1.2 Estructura y propiedades de los gránulos de almidón

El almidón es una mezcla de dos glucanos; amilosa y amilopectina. La mayor parte de ellos contienen un 20 – 30 % de amilasa, y entre un 70 – 80% de amilopectina. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En el cuadro 9 se observa la composición de los principales gránulos de almidón, en donde se aprecia que el almidón de papa es el mas grande de los 3.

TIPO	AMILOPECTINA (%)	AMILOSA (%)	TEMPERATURA DE GELATINIZACION (°C)	TAMAÑO DEL GRÁNULO (micras)
Maíz	73	27	62-72	5 – 25
Papa	78	22	58-67	5 – 100
Trigo	76	24	58-64	11 – 41

Cuadro No.9. Composición de varios gránulos de almidón (Badui, 1996)

2.3.1.2.1 Estructura y propiedades de la amilosa

La amilosa se compone exclusivamente de cadenas de unidades de α - D - glucopiranosilo unidas por enlaces (1 \rightarrow 4)

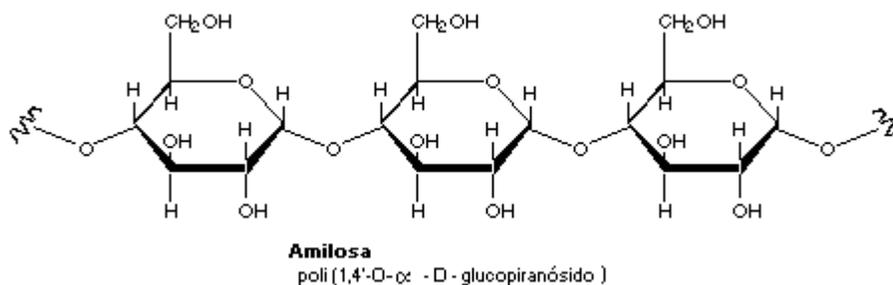


Figura No. 3. Amilosa

La hidrólisis enzimática es llevada a cabo por α – amilasa y glucoamilasa. El tamaño molecular de la amilosa es muy variable. El grado de polimerización de los almidones de papa es de 4.500. Ello corresponde a pesos moleculares comprendidos entre 150.000 y 750.000.

2.3.1.2.2 Estructura y propiedades de la amilopectina

La amilopectina es un glucano ramificado que posee la siguiente estructura:

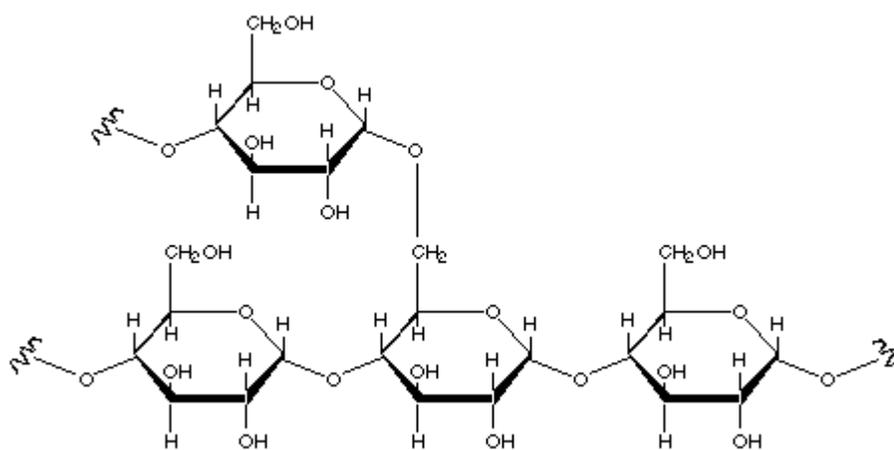


Figura No. 4. Amilopectina

Como promedio existe un punto de ramificación cada 15 – 30 restos de glucosa. La mayor contribución a la estructura cristalina de los gránulos de almidón proviene de la amilopectina. El peso molecular de la amilopectina es muy elevado y por cada 400 restos de glucosa aproximadamente aparece uno de fosfato. La amilopectina, por calentamiento en agua, proporciona soluciones claras y de alta viscosidad, que son además filamentosas y cohesivas. Al contrario de la amilosa, no forma geles, aunque la concentración sea muy alta.

La viscosidad decrece sin embargo en medio ácido en tratamientos en autoclave o por fuerte agitación mecánica.

2.3.2 Distintos usos del almidón

- El almidón es un importante aglutinante y espesante usado por ejemplo en sopas, salsas, alimentos infantiles, panadería y mayonesas. También como materia prima para la obtención de jarabe de almidón y de glucosa.
- La amilosa es útil para recubrimiento de frutas (dátiles, higos) y frutas desecadas o glaseadas, pues evita la adhesividad que normalmente poseen. La buena capacidad de formación de geles de amilosa dispersable la hace indicada para su uso en postres y salsas instantáneas.
- Las películas de amilosa se utilizan también para un mejor envasado de alimentos como cafés y té instantáneos.
- La amilopectina se utiliza extensamente como espesante, estabilizante y adhesivo.

2.3.3 Almidón dañado mecánicamente

El daño mecánico de los gránulos de almidón por molturación o empleo de presión a contenidos acuosos variables eleva la fracción amorfa y conduce a una mayor dispersabilidad, capacidad de hinchamiento en agua fría, descenso de la temperatura de gelatinización unos 5 – 10 °C y a una mayor sensibilidad al ataque enzimático (Belitz & Grosch, 1997).

2.3.4 Productos derivados del almidón

A partir de éste hidrato de carbono se obtienen distintos derivados, como la glucosa, dextrinas y los almidones modificados, todos ellos ampliamente usados en la elaboración de un gran número de alimentos e incluso en muchas otras industrias de productos no comestibles.

La glucosa se fabrica por la hidrólisis completa del almidón con enzimas amilolíticas, el jarabe producido se puede purificar y decolorar por centrifugación, filtración y por la acción de carbón activado para finalmente concentrarlo.

De acuerdo con las condiciones de temperatura, la glucosa se presenta en tres formas o en mezclas de éstas:

- **La α - D - glucosa monohidratada :** es la más común, cristaliza a < 50 °C y es poco soluble .
- **α - D - glucosa anhidra :** En caso de emplearse temperaturas mas altas que pueden llegar hasta los 115°C.
- **β - D - glucosa anhidra :** se obtiene a temperaturas menores de 115°C; tiene la ventaja de ser muy soluble en agua y que es la mas apropiada para bebidas y otros productos que requieren una solubilización instantánea.

2.4 ENZIMAS EMPLEADAS EN LA HIDRÓLISIS Y SÍNTESIS DEL ALMIDÓN

Las enzimas empleadas pertenecen al grupo de las amilasas, las cuales son: α amilasa y glucoamilasa.

Las amilasas han sido clasificadas de la siguiente manera:

1. Por la configuración del carbon anomérico de sus productos.
2. El origen biológico
3. El tipo de ataque en el sustrato
4. Si producen una pendiente rápida en la viscosidad del sustrato (licuefacción) o una pendiente lenta (sacarificación)
5. El tipo de producto obtenido: D – glucosa, maltosa, maltotriosa.
6. La naturaleza de su estructura proteica (Hermida, 1993).

En el cuadro 10 se observan las fuentes de obtención de las enzimas amilolíticas.

α AMILASAS
Bacillus amiloliquefaciens
<i>Bacillus licheniformis</i> (enzima termoestable, t_a óptima : 90°C)
<i>Aspergillus oryzae</i>
<i>Aspergillus niger</i>
Saliva humana
Páncreas porcino
Entre otras
GLUCOAMILASAS
<i>Aspergillus Níger</i>
<i>Rhizopus delegar</i>
<i>Rhizopus nivens</i>

Cuadro No.10. Fuentes de obtención de α amilasas y glucoamilasas (Belitz & Grosch, 1997)

2.4.1 α Amilasas

Son endoenzimas que catalizan la hidrólisis al azar de los enlaces alfa 1-4 glicosídicos de la región central de las cadenas de amilosa y amilopectina, excepto a las proximidades en los puntos de ramificación.

El modo de acción, propiedades y productos de degradación depende de la fuente de la enzima (Robyt and Whelan, 1968). La actividad de la enzima se analiza midiendo la reducción en la capacidad de la solución del almidón de formar el color azul característico con el yodo, o bien midiendo la disminución de la viscosidad de las suspensiones de almidón.

2.4.1.1 Acción de la α -amilasa

La acción de la α -amilasa en la porción de amilosa comienza en dos etapas: la primera, con una rápida degradación dando como resultado maltosa y maltotriosa, ya que ataca al azar al sustrato. Ocurre una rápida disminución de la viscosidad del gel de amilosa. La segunda etapa es mas lenta, ya que ocurre una hidrólisis lenta de los oligosacáridos provocando la formación de glucosa y maltosa (Zaborsky, 1973). La hidrólisis de la amilopectina produce glucosa, maltosa, dextrinas límite y oligosacáridos conteniendo enlaces α -1, 6 glucosídicos. La mayor actividad de las amilasas ocurre en pH ácido de 4.5 – 7.0 (Whitaker, 1972). El jarabe producido por las α -amilasas fúngicas (*aspergillus oryzae*) contiene un 50% de maltosa, 30% de maltotriosa y 5% de glucosa. (Badui, 1996).

2.4.2 Glucoamilasa

Las glucoamilasas liberan β - D- glucopiranosas de los extremos no reductores de la cadena de almidón, hidrolizando las uniones 1-4 y 1-6, estas últimas a menor velocidad, dando como productos de reacción: glucosa, maltosa y dextrinas. Las dextrinas obtenidas de la licuefacción por alfa amilasas son rápidamente y totalmente convertidas a glucosa por la acción de la glucoamilasa. La glucoamilasa tiene su actividad óptima en pH de 4 - 5 y a una temperatura de 55 - 60°C en tiempos de más de 24 hrs. Las dextrinas ramificadas son mucho menos susceptibles a la hidrólisis, debido a que la glucoamilasa rompe los enlaces $\alpha(1 - 6)$ D-glucosídico, a una baja velocidad comparado con la que rompe los enlaces α -D- (1-4) (Barker and Fletewood, 1957). El grado de transformación del almidón en glucosa se determina por el poder reductor del jarabe y se expresa como equivalentes de dextrosa (Badui, 1996).

2.4.3 INHIBIDORES

2.4.3.1 La transglucosidación

Es una reacción que puede ser efectuada por tres tipos de enzimas (fosforilasas, nucleótido difosfato glicosidasas y transglucosidasas). Son envueltas en la biosíntesis de polisacáridos como almidón y glucógeno. La formación de polisacáridos por microorganismos es llevada a cabo por la transglucosidasa. Las transglucosilasas forman maltosa, panosa y altos oligosacáridos a partir de la glucosa y maltosa. Esta reacción es de gran importancia, ya que reduce la producción de dextrosa para formar los altos oligosacáridos. Se destruyen a pH de 9 (Greenwood, 1970; Radley, 1968; Whistler & Paschall, 1965).

2.5 PRODUCTO DE LA REACCIÓN ENZIMÁTICA AMIOLITICA

2.5.1 Jarabe de glucosa

El producto obtenido de la reacción enzimática se mide en términos de equivalentes de dextrosa (ED), calculado en base seca. Un ED de 100 equivale a glucosa pura y un ED de 0 es almidón puro. Solo el jarabe de glucosa con alta cantidad de ED se puede cristalizar rápidamente y hacer un producto en polvo o en forma granular. El producto cristalizado mas popular es la dextrosa monohidratada con aplicaciones en la industria farmacéutica. La dextrosa monohidratada es glucosa pura. Es posible también la obtención de un producto menos purificado conocido como azúcar total el cual es producido por medio de cristalización instantánea con un ED de 97.

2.5.1.1 Equivalentes de conversión de glucosa

La catálisis ácida permite elaborar productos de conversión intermedia los cuales van de 35 – 55 ED. Los productos de conversión intermedia y mayores para propósitos específicos pueden ser obtenidos sustituyendo el uso de ácidos por enzimas, lo cual ocurre generalmente en un proceso de dos etapas. En la primer etapa, se lleva a cabo la licuefacción con α -amilasa termoestable ó ácido. Posteriormente se enfría y ajusta el pH para aplicar una enzima de sacarificación como la glucoamilasa. Por medio del uso de enzimas es posible producir jarabes con ED desde 28 hasta 98. Los jarabes glucosados pueden estar agrupados de acuerdo con su grado de conversión:

Conversión	ED
Bajo	20-38
Intermedio	38-58
Alto	58-73
Muy alto	73

Cuadro No.11. Equivalentes de dextrosa en jarabes de glucosa

2.5.1.2 Características del Jarabe de glucosa

El jarabe de glucosa es cristalino y viscoso. Su composición es: 18% dextrosa, 16% maltosa, 66% altos sacáridos. Contenido de sólidos 80%; pH 4.2/5.2; viscosidad 140 cps; Densidad 1,42. Tiene un poder edulcorante del 60% base azúcar. Como estándar este producto tiene un sabor blando y dulce, se almacena y transporta en recipientes cerrados.

2.5.1.3 Usos del jarabe de glucosa

Se la emplea en conjunto con la sacarosa en caramelos (50%), dulce de leche, dulces y mermeladas (10%), helados (10%), productos lácteos (10%), panificación y galletería (10%). Las propiedades fundamentales en las que se basa su uso, se relacionan con su poder anticristalizante, higroscopicidad, cuerpo, textura y poder humectante (Rentshler, 1962).

2.5.1.3 Precio del jarabe de glucosa

Actualmente su precio oscila en el mercado entre los 300 y los 400 dólares por tonelada (Análisis de la cadena de edulcorantes, 2000).

2.5.2 Dextrosa

2.5.2.1 Usos de la dextrosa

La dextrosa posee un poder edulcorante del 60/70% base azúcar. Tiene numerosos usos en la industria alimenticia (40%), en especialidades farmacéuticas (20%), refrescos y jugos (20%) y productos lácteos (20%), entre otros (Rentshler, 1962). Argentina es el único país de Sudamérica que produce dextrosa, aunque no se autoabastece, debiendo importar. Este producto se comercializa en polvo.

2.5.2.2 Precio de la dextrosa

La dextrosa común tiene un precio de 400 a 500 dólares por tonelada y la de uso farmacéutico se cotiza entre los 700 y los 1,200 dólares por tonelada (Análisis de la cadena de edulcorantes, 2000).

CAPITULO 3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Aparatos y equipos

Aparatos para análisis

Licuadora	Philips
Bomba de vacío	Duo seal* Vacuum pump
Refrigerador	Hotpoint
Potenciómetro	Corning
Parrilla Magnética	Termolyne
Balanza analítica	A&D
Vortex	Genie mixer
Espectrofotómetro	Genesy
Estufa de vacío	
Estufa a temperatura constante	
Mufla	
Baño María 37°C	American B6990

Baño María 55°C	Napco 210A
Aparato Kjeldall	
Colorímetro	MINOLTA CR –300

Equipos para proceso

Freidora	Taurus
Rebanadora	Magic Cut
Compresor de aire	SIEMENS
Aspersor	Sprink
Vernier	Mitutoyo

3.2 Materiales

A continuación se mencionan los materiales utilizados en la investigación:

Tubos de ensaye	Pinzas para tubos de ensaye
Soporte universal	Matraces Erlenmeyer 500 ml
Vasos de precipitado 100ml, 500 ml	Agitadores magnéticos
Varilla de vidrio y plástico	Espátula
Aluminio	Filtros Whatman # 1
Tela muselina	Embudos
Gradillas	Termómetros
Refrigerante de margarita	Pipetas 10 ml
Pisetas	Matraces bola
Micropipetas	Matraz aforación 10, 100, 1000ml
Matraz Kitazato	

3.3 Reactivos

Reactivos de uso común, almidón grado analítico, dextrosa anhidra, kit SPINREACT, enzima α amilasa, enzima glucoamilasa.

3.4 Desarrollo de la Investigación

La presente investigación se llevó a cabo en 4 etapas:

ETAPA 1: Recolección de la materia prima

ETAPA 2: Condiciones para la obtención del producto terminado

ETAPA 3: Análisis de aguas almidonosas

ETAPA 4: Degradación de almidón de papa hasta la conversión a glucosa mediante enzimas amilolíticas.

3.4.1 ETAPA 1: Recolección de la materia prima

Se recolectó la materia prima (papa variedad Atlantic). Obtenida de la región de Navidad en Galeana, Nuevo León. La papa se seleccionó de acuerdo al tamaño, forma y sin daño mecánico o verdeamiento; al cumplir los parámetros requeridos se aceptó y preparó para su procesamiento.

3.4.1.1 Características Físico-Químicas de la Papa

Como parte de la caracterización físico-química se determinó el contenido de cenizas, proteína (6.25), grasa, fibra, humedad y almidón mediante los métodos establecidos por el AOAC en 1980.

3.4.2 ETAPA 2: Condiciones para la obtención de producto terminado

3.4.2.1 Establecimiento del grosor de las hojuelas de papa

Se lavaron las papas y se les quitó la cáscara, se eliminó la parte inicial y final de la papa para obtener hojuelas de un tamaño similar; después, se rebanaron las papas con una rebanadora manual ajustable a distintos grosores (1 mm, 1.27 mm, 1.52 mm, 1.77 mm) los cuales fueron medidos con un Vernier, midiendo las orillas y el centro de la hojuela para confirmar que cumplieran con las medidas anteriormente citadas de una manera homogénea. Los cortes fueron realizados de manera transversal con el fin de obtener un producto uniforme.

3.4.2.2 Determinación del tiempo y la presión del esreado con agua corriente

Después de rebanadas, las hojuelas de papa se pesaron (30 g) en una balanza semi-analítica y se acomodaron en una malla de alambre de 3 mm² para permitir

la salida de agua almidonosa hacia un recipiente de plástico. Las papas se esprearon con agua corriente (impulsada por la presión de un compresor de aire al cual se le ajustó una boquilla aspersora) a temperatura ambiente a una altura de 30 cm; con movimientos de izquierda a derecha y de arriba-abajo con el fin de abarcar toda la hojuela y quitarle la mayor cantidad de almidón excedente posible. A las hojuelas rebanadas se les dieron diversos tratamientos de espreado intercalando los distintos tiempos y presiones. Tiempos desde 30 hasta 50 segundos por lado y presiones desde 40 hasta 70 psi.

3.4.2.3 Establecimiento del tiempo de freído de las hojuelas de papa

Las hojuelas de papa ya espreadas se dejaron escurrir en una malla de alambre para que el exceso de agua fuera eliminado y se llevaron a la freidora a una temperatura de 190°C con aceite de canola. Se tomó el tiempo desde la inmersión de las hojuelas de papa en el aceite de canola hasta que estuvieran bien cocidas, o bien cuando comenzaron a presentar un color café, producto de una reacción de Maillard (oscurecimiento no enzimático).

3.4.2.4 Determinación del peso de la papa frita

Éste se determinó pesando las papas fritas en una balanza, los pesos obtenidos fueron de 9 g hasta 10.12 g de papa frita a partir de 30 g de hojuelas de papa fresca. La relación de producción en fresco a frito es de 3:1, donde para producir una tonelada de papa frita, se necesitan 3 toneladas de papa en fresco.

3.4.2.5 El color de la papa frita

Después del freído de las hojuelas de papa, se analizó el color de las mismas, para determinar cual es el tratamiento que elimina de mejor manera el almidón excedente capaz de producir coloraciones indeseables dando como resultado una papa dorada de óptima calidad visual. Para ello se realizaron lecturas con el Colorímetro, en base a las escalas de L, a y b. Los valores de luminosidad considerados como óptimos son generalmente de 60; En donde a menor valor de “a”, el color es más claro y a medida que aumenta el valor, el color es mas oscuro. Y valores de “b” en donde a menor valor es mas oscuro y conforme aumenta el valor es más claro.

Esto se logra obtener con un colorímetro, el cual mide la reflexión de colores sobre superficies. Una pulsación de una lámpara de arco eléctrico de Xenón al encenderse en una cámara mezcladora ilumina la superficie de la muestra. Las foto celdas son muy sensitivas y miden la incidencia y refractancia de la luz. La muestra a analizar se acomoda en el lector del aparato el cual por medio de un haz de luz toma la lectura y da los resultados en distintas escalas, en este caso en L, a y b. En donde la L indica luminosidad y a, b son las coordenadas de cromaticidad.

3.4.3 ETAPA 3: ANÁLISIS DE LAS AGUAS ALMIDONOSAS

3.4.3.1 Filtración y cuantificación del almidón

En ésta etapa, el agua recolectada de los diversos tratamientos se etiquetó y se adaptó el volumen de agua (alrededor de 600 ml) para que fuera el mismo para cada tratamiento. Después, el contenido de almidón se determinó por el

método de espectrofotometría (ver apéndice I). La cantidad de almidón se determinó por espectrofotometría contra una curva de calibración a 620 nm. Las lecturas de almidón oscilaron entre 0.062nm – 0.112 nm dependiendo del tratamiento realizado. Para fines más prácticos y para almacenar el almidón obtenido del espreado de las hojuelas se realizó un filtrado del almidón con tela muselina para eliminar el material extraño, como pequeños trozos de papa.

Después se realizó una segunda filtración con un filtro de papel # 1 y con la ayuda de una bomba de vacío con el fin de concentrar el almidón, ya concentrado se puso en una estufa de vacío (a 70°C y 20 lbs de presión) para eliminar el exceso de agua. Después se molió el almidón en un mortero obteniéndose así una partícula de almidón mas pequeña. Y se almacenó para su uso posterior.

También se puede realizar la degradación directa, pero la desventaja es que debe realizarse rápidamente, ya que el almidón comienza a oxidarse.

3.4.4 ETAPA 4: Degradación de almidón de papa a glucosa mediante enzimas amilolíticas

En ésta etapa se realizó la degradación a partir del almidón de papa hasta su conversión a jarabe glucosado por la acción de enzimas amilolíticas tales como:

α – amilasa y la glucoamilasa. La degradación comienza por una gelatinización, seguida de una licuefacción con α – amilasa y por último la acción de la glucoamilasa para convertir la maltosa y las dextrinas en glucosa.

3.4.4.1 Gelatinización

Se colocó 1 gr. de almidón de papa en un vaso de precipitado con 100 ml de agua destilada, calentando a 85°C durante 5 min. con agitación en una parrilla de agitación y calentamiento; después se dejó enfriar hasta 20°C para comenzar el siguiente paso.

3.4.4.2 Licuefacción con α – amilasa

Al llegar a la temperatura de 20°C, se agregó la α – amilasa (0.15%) y se dejó actuar a temperatura ambiente durante 1 hr. El resultado de ésta degradación es la maltosa. Transcurrido ese tiempo, se agregaron 100 ml de buffer preparado con ácido cítrico a un pH de 4.5, ya que es el ideal para la acción de la glucoamilasa. Especificaciones de la α – amilasa (apéndice I).

3.4.4.3 Conversión de maltosa a glucosa

Esta acción se realizó después de la licuefacción del almidón con alfa amilasa mediante la adición de la glucoamilasa (0.0015grs) a un pH de 4.5 y manteniendo una temperatura de 55°C en un baño maría durante varias horas; la producción de glucosa y reducción de almidón se evalúa a distintos tiempos: antes de agregar la glucoamilasa, a los 15 min, 3, 5, 6, 8 y 24 hrs. En los tiempos anteriormente citados, se realizaron 2 pruebas: lecturas de

almidón a 620 nm y lecturas de glucosa a 480 nm mediante espectrofotometría. Para ver las características de la glucoamilasa, ver el apéndice I.

3.4.4.3.1 Cuantificación de almidón en el sistema

En un tubo de ensaye se agregó una muestra del sistema de 1 ml, (se requirió hacer diluciones (1:10 – 1:100) durante las primeras dos lecturas de almidón en el sistema, ya que las lecturas eran demasiado altas) ó de 6 ml cuando la enzima degradó la mayor cantidad del almidón (esto es para los tiempos de 3 hr en adelante). El tubo de ensaye pasó a un baño maría a ebullición durante 5 min. Se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se tomaron 4 ml de la muestra de almidón y se le agregaron 10 ml de solución stock diluída. Se agitaron con el vortex y posteriormente se leyeron en el espectrofotómetro a 620 nm. Las lecturas se compararon contra una curva de calibración para saber la cantidad de almidón remanente en el sistema.

3.4.4.3.2 Cuantificación de glucosa en el sistema (test enzimático - colorimétrico)

Se tomó un tubo de ensaye y se le agregó 1 ml de muestra del sistema, a los 15 minutos que se toma la primera lectura, es necesario hacer una dilución de 1:1, es decir, 1ml de muestra del sistema y 1 ml de agua destilada. Al transcurrir el tiempo (a partir de las 3 hrs) fue necesario hacer diluciones de 1:10; ya que la concentración de glucosa fue demasiado alta e impidió la lectura. Después de tomar la muestra, se tiene que preparar un blanco y un

estándar; ésta determinación de glucosa se realiza con un kit SPINREACT para la determinación de glucosa, el cual es un test enzimático – colorimétrico.

Para la elaboración del blanco, se tomó 1 ml de reactivo de glucosa ya preparado (Se elabora al agregar glucosa oxidasa, peroxidasa, 4 – aminofenazona, sol. glucosa, en un reactivo que contiene TRIS pH 7.4 y fenol, se agita y se usa).

Para preparar la solución estándar se agregó 1 ml de reactivo de glucosa y 10 µL de solución estándar (glucosa en concentración de 100 mg/dL).

Para la muestra del sistema se tomó 1 ml de reactivo de glucosa y 10 µL de muestra del sistema. Se agitaron en el vortex y se incubaron en un baño maría a 37°C durante 10 min. Transcurrido ese lapso se sacaron y se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

Se realizaron las lecturas a 480 nm, primero el blanco, para la calibración, luego el estándar y por último la muestra.

El cálculo para saber el contenido de glucosa es mediante:

$$\text{Glucosa (mg/dL)} = \frac{\text{lectura de la muestra}}{\text{lectura del estándar}} \times \text{concentración del estándar (100)}$$

3.4.4.3.3 Determinación del tiempo de mayor producción de glucosa

Ésta determinación se realizó mediante las lecturas de glucosa a los distintos tiempos: 0, 15 min, 3, 5, 6, 8 y 24 hrs. Conforme a los resultados expresados en mg/l se puede saber cual es el tiempo de mayor producción de glucosa.

3.4.5 El producto final

Al producto final (jarabe glucosado) se le realizaron los siguientes análisis: Contenido de azúcares totales, cantidad de glucosa final y pH.

3.4.5.1 Contenido de Azúcares Totales

Se realizó tomando una muestra de 1 ml de jarabe suspendido en 100 ml, se siguió el procedimiento usado en el análisis bromatológico (ver apéndice I).

3.4.5.2 Cantidad de Glucosa Final

Se realizó mediante el kit de SPINREACT mediante el método enzimático- colorimétrico (ver 3.4.4.3.2)

3.4.5.3 Determinación del pH

Se realizó con el potenciómetro Corning-220. Se homogenizaron 10 g de muestra fresca en 100 ml de agua destilada, posteriormente se introduce el electrodo en la muestra para tomar la lectura.

CAPITULO 4 **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1 ETAPA 1. Recolección de la materia prima

Se evaluaron papas variedad Atlantic cuyo tamaño óptimo es de alrededor de 7-8.5 cm, ya que tamaños menores son considerados papas canicas, las cuales al momento del rebanado no son detectadas por las máquinas, llegan a la freidora y pasan al producto final, lo cual es un defecto de calidad. Y las papas mayores a los valores establecidos se tienen que cortar a la mitad para que entren correctamente en las maquinas empacadoras.

4.1.1 Tamaño de la papa

Para la elaboración de papas fritas en ésta investigación se consideraron varias medidas de 7, 7.5, 8 y 8.5 cm usando un Vernier; ya que fueron las mas abundantes, manejables y óptimas para la producción de papas fritas. El siguiente cuadro muestra la cantidad de papas utilizadas de acuerdo a su tamaño.

Tamaño (cm)	Cantidad
7.2	15

7.5	34
8.3	35
8.7	32

Cuadro No. 12. Relación de tamaño promedio y cantidad de papas empleadas

4.1.2 Forma y defectos

La forma de la papa ocupada en esta investigación es ovalada, para así tener uniformidad para todos los tratamientos. Se eligió papa libre de daños mecánicos, color verde o corazón hueco, ya que disminuyen el rendimiento y le restan calidad al producto terminado.

4.1.3 Análisis Bromatológico

Se realizó un análisis bromatológico a la papa variedad Atlantic del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

DETERMINACION	PORCENTAJES (%)
Humedad	70.00
Materia seca	30.00
Cenizas	0.90
Grasa	0.10
Proteína	2.72
Fibra cruda	1.80
Carbohidratos Totales	24.54
Del cual:	
- Almidón	14.72
- Otros azúcares	9.82

Cuadro No.13. Análisis Bromatológico de la Papa (*Solanum Tuberosum*) variedad Atlantic

Los resultados obtenidos son semejantes a los obtenidos por Augustin (1975) más sin embargo, existe un rango en los porcentajes de los nutrientes según la variedad, las características climáticas y del suelo de la región de cultivo. El contenido de humedad obtenido es bajo y por consiguiente tiene un mayor contenido de materia seca en forma de

almidón, azúcares reductores y totales. También se puede observar que el contenido de grasa es muy bajo.

4.2 ETAPA 2. Condiciones para la obtención de producto terminado

4.2.1 Establecimiento del grosor de las hojuelas de papa

Se rebanaron las papas a diferentes grosores, los cuales fueron:

Grosor (mm)	Absorción de aceite	Textura y apariencia	Decisión
1.00	40%	Blanda, Translúcidas, muy aceitosas	Descartado
1.27	40%	Blanda Translucidas al centro, muy aceitosas	Descartado
1.52	30%	Firme, color amarillo dorado	Elegido
1.77	40%	Blanda al centro, cruda	Descartado

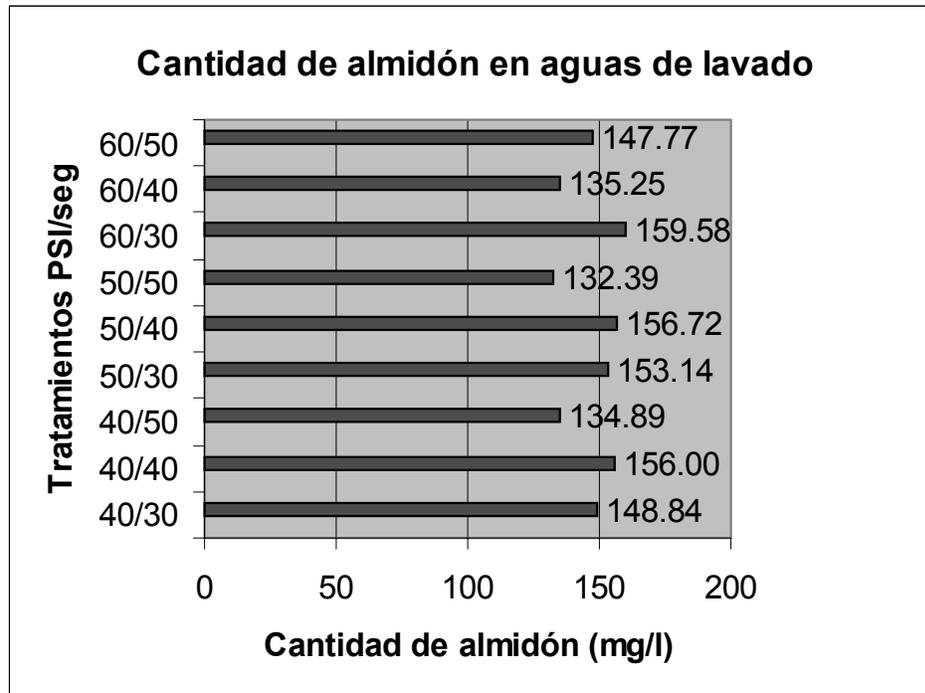
Cuadro No.14. Grosor de las hojuelas de papa

A los cuales se les midió la parte central y las orillas para lograr uniformidad. El rebanador se ajustó hasta que las hojuelas quedaron del mismo grosor según la medida. Los cortes de 1 mm y 1.27 mm fueron descartados, ya que eran demasiado delgados, tenían una textura blanda, translúcida y muy aceitosas, por lo que se seleccionó el corte de 1.52 mm debido a que presentó las mejores características finales. El corte de 1.77 mm era demasiado grueso y provoca que aumente el peso, disminuye el volumen del producto, requiere un mayor tiempo de freído y por lo mismo hay mayor absorción de aceite.

4.2.2 Determinación del tiempo y presión de agua del esreado

Se determinó al aplicar diversos tratamientos a las hojuelas de papa rebanadas en relación de presión y tiempo. Los tratamientos variaron la intensidad de la presión de agua corriente y el tiempo de exposición a la misma. Con la finalidad de extraer la mayor cantidad de carbohidratos excedentes susceptible a caramelizar.

El análisis estadístico de diseños completamente al azar, indica que no existe una diferencia significativa al usar alguno de los tratamientos. Por lo cual estadísticamente se puede utilizar cualquiera de ellos (ver apéndice I). Pero como se observa en la gráfica 1, el tratamiento que extrajo la mayor cantidad de almidón (mg) fue el de una presión de 60 psi durante 30 segundos por lado obteniéndose una lectura a 620 nm de 159.58 mg de almidón, seguido muy de cerca por el tratamiento de 50 psi durante 40 segundos por lado y por el de 40 psi durante 40 segundos por lado; mas sin embargo, es mas recomendable utilizar el tratamiento de 40 psi durante 40 segundos por lado, ya que la alta presión además de extraer almidón también daña a la hojuela provocando rupturas en la misma y reduciendo el peso de la hojuela (ver *determinación del peso de la hojuela de papa frita*) por algunas fibrosidades que se pierden debido al tratamiento tan agresivo.



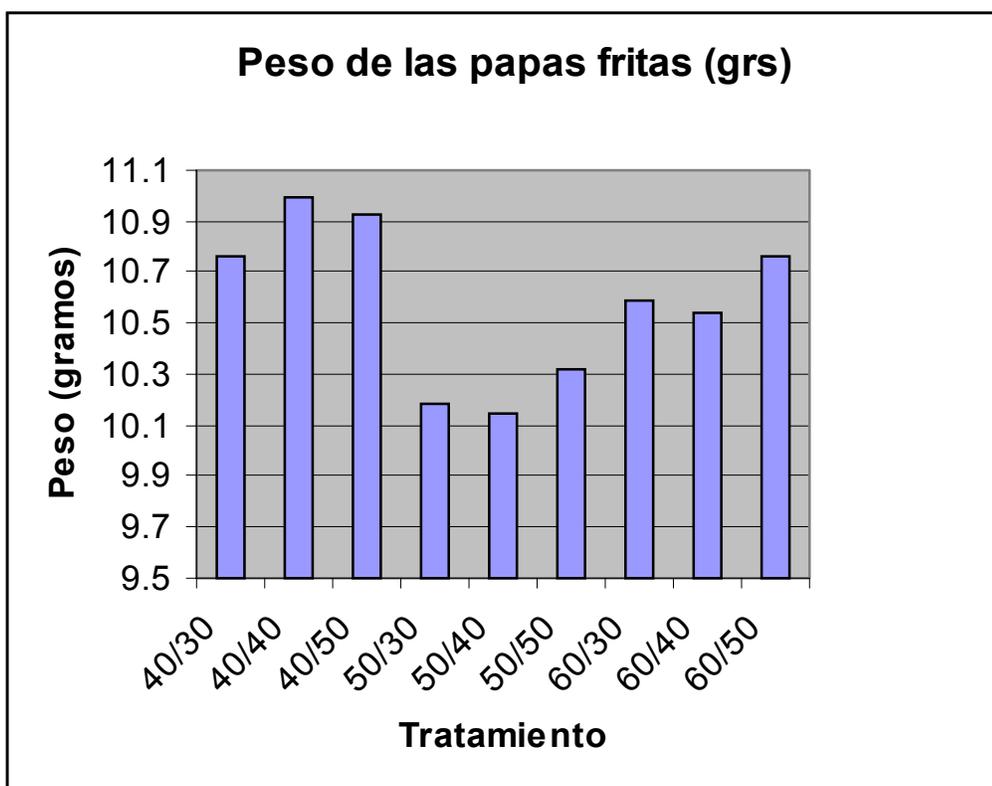
Gráfica No. 1. Resultado del lavado de hojuelas con diversos tratamientos de tiempo y presión

4.2.3 Determinación del tiempo de freído de las hojuelas de papa

El tiempo de freído fue determinado en función a la obtención de un producto con las siguientes características: hojuela delgada, quebradiza, de color claro, forma cóncava y agradable a la vista. Siendo las condiciones óptimas un tiempo de residencia de alrededor de 60 segundos con una carga de aproximadamente 10 hojuelas y una temperatura de 190°C. Estas condiciones son similares a las utilizadas por las empresas elaboradoras de papas fritas líderes en el mercado.

4.2.4 Determinación del peso de la hojuela de papa frita

El peso de papa en fresco para freírse fue de 30 g, del cual al obtener el producto final, éste presentó un peso desde 9.79 g hasta 11.16 g según el tratamiento empleado. En la gráfica 2 se puede observar que el tratamiento con el cual la papa tuvo un mayor rendimiento fue con el de 40 psi durante 40 segundos por lado. Lo que indica que los demás tratamientos son más agresivos con la hojuela y pudieron haber quitado un poco de la misma con la presión del lavado.



Gráfica No.2. Peso de las hojuelas de papa frita en gramos según el tratamiento aplicado

En la siguiente tabla se puede observar el rendimiento de producto obtenido por cada uno de los tratamientos.

Tratamientos (PSI/seg)	Rendimiento (%)
---------------------------	--------------------

40/30	78.28
40/40	79.74
40/50	79.37
50/30	74.28
50/40	73.91
50/50	75.37
60/30	77.19
60/40	76.82
60/50	78.28

Cuadro No.15. Rendimiento de producto obtenido por cada tratamiento

4.2.5 Color de la hojuela de papa frita

4.2.5.1 Valores numéricos (escala L, a, b)

El color de las hojuelas sin tratamiento en el valor de L (luminosidad) osciló entre 49-69; en “a” desde 5.89 hasta 8.96 y en “b” desde 27.09 hasta 30.62. Mientras los valores de “a” sean mas altos, el color es mas intenso y en “b” mientras el valor sea menor, el color es menos intenso. A y b son las coordenadas de cromaticidad por lo que tienen una relación muy estrecha en la intensidad de la coloración. Los resultados se analizaron en un diagrama de cromaticidad en donde cada tratamiento tiene su color específico.

El tratamiento que origina el color similar a las papas fritas comerciales fue el obtenido con una presión de 40 psi durante 40 segundos por lado (L= 60.36) seguido muy de cerca por el tratamiento de 60PSI durante 30 segundos por lado (L= 59.50) y el de 50 psi durante 40 segundos (L= 61.02). Por lo tanto el tratamiento de 40 psi durante 40 segundos por lados

fue el elegido, ya que presenta un color amarillo dorado muy apetecible para el consumidor.

Además que la industria de papas fritas tiene como meta un valor de L de 60.

Los datos promedio de los valores de la escala L*a*b por tratamiento fueron:

Tratamiento	Valor L	Valor a	Valor b
Directo	47.34	6.92	29.44
40/30	59.75	-2.32	18.51
40/40	60.36	-1.99	17.34
40/50	65.23	-2.08	20.23
50/30	62.83	-2.22	22.1
50/40	61.02	-1.46	21.51
50/50	63.79	-1.60	21.07
60/30	59.50	-2.03	18.73
60/40	56.71	-2.78	16.29
60/50	58.68	-1.44	21.30

Cuadro No. 16 Valores de L (luminosidad) y coordenadas de cromaticidad

Como se observa en el cuadro anterior, el valor de L obtenido para el freído directo (sin tratamiento) fue de 47.34, el cual, mientras sea mas bajo es mas oscuro el color. Si se compara con el tratamiento de 40/40 cuyo valor de L es 60.36 se puede observar que existe una gran diferencia entre éstos. Esta diferencia en los colores se debe a la cantidad de carbohidratos que se caramelizan. Además el valor de 47.34 da una coloración oscura indeseable que no es aceptable en la industria de las frituras.

En la figura No. 5 se muestra un diagrama de cromaticidad en donde se observan las coloraciones obtenidas por cada tratamiento.

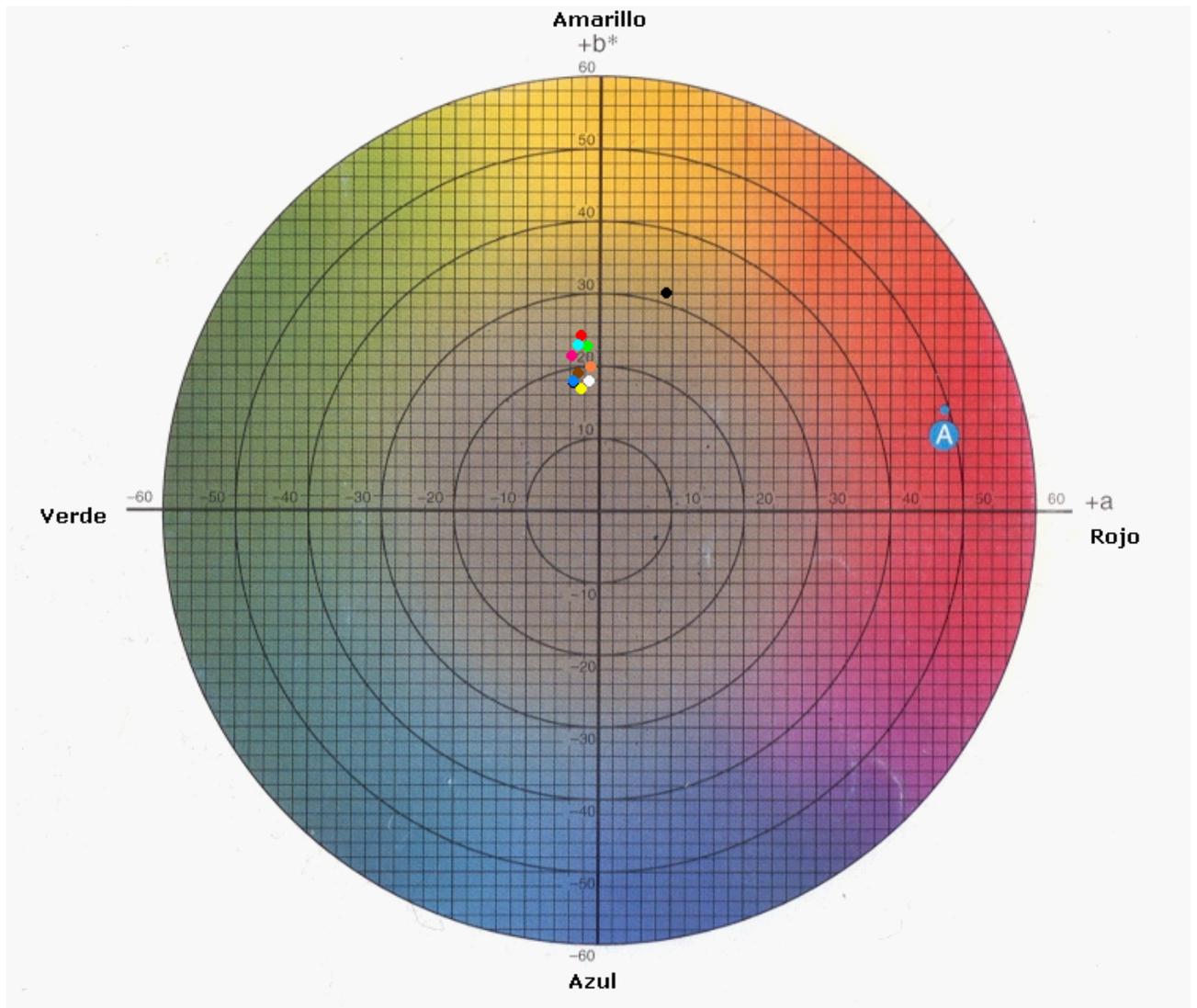
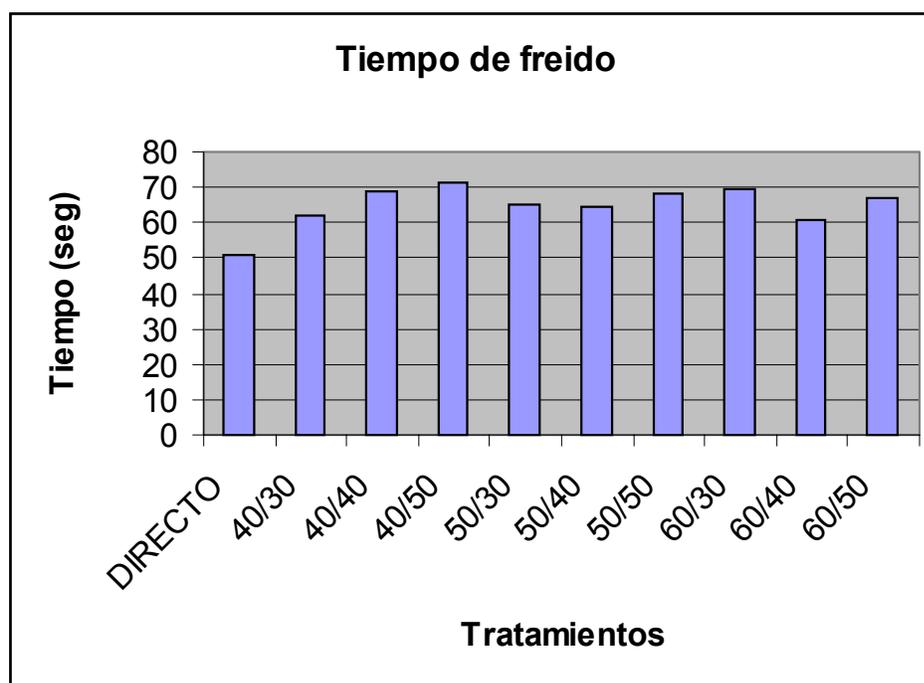


Figura No. 5. Diagrama de Cromaticidad

En la gráfica 3 se observa que las hojuelas de papa sin tratamiento alguno a los 51 segundos presentaron una coloración café debido a la alta cantidad de almidón. Los demás

tratamientos tuvieron tiempos de freído de alrededor de 60 – 70 segundos, variando muy poco entre ellos, pero éstos si tuvieron buen aspecto comparado al directo, ya que aunque estuvieron expuestos durante mas tiempo al freído no tuvieron coloración inaceptable. El color obtenido en los demás tratamientos fue amarillo-dorado (como se observará mas adelante en las figuras 6,7,8,9). La textura de la papa es firme.



Gráfica No.3. Tiempo de freído en hojuelas de papa según el tratamiento empleado

4.2.5.2 Análisis del color de las hojuelas

Las siguientes imágenes muestran el producto final obtenido según el tratamiento empleado. Los tratamientos están en función de la presión del esparado sobre el tiempo de exposición de la hojuela.

4.2.5.2.1 Sin tratamiento para quitar exceso de almidón

La figura No.6 muestra las papas fritas sin tratamiento alguno y presentan una coloración café claro uniforme en el centro de la hojuela y una coloración café intensa en las orillas de la misma, además de que dio un sabor “amargo” y a “quemado”. Debido a una reacción de oscurecimiento no enzimático (reacción de Maillard) se producen compuestos aromáticos, los cuales son carcinógenos por lo que se debe evitar consumirlos.



Figura No.6. Hojuela de papa frita sin lavado (freído directo)

4.2.5.2.2 Tratamientos de 40 psi

En la figura No. 7 es posible apreciar que los tratamientos de 40/30 psi/seg y 40/50 psi/seg originan hojuelas con una coloración un poco mas oscura en las orillas que la de

40/40 psi/seg. Además que ésta presenta un color amarillo dorado mas uniforme. Por lo cual fue seleccionado.

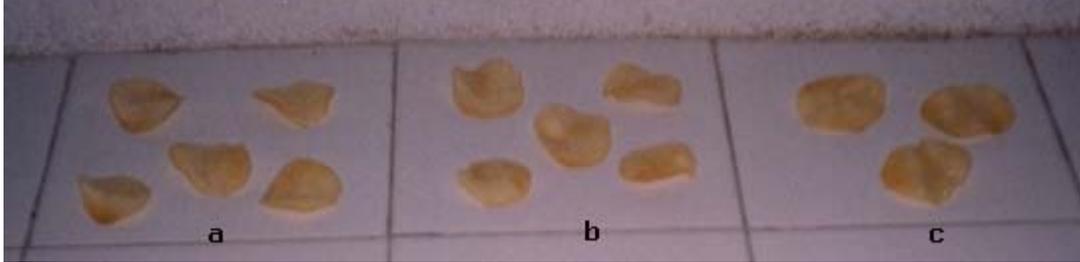


Figura No.7. Papas fritas con diversos tratamientos de esreado. (a) Tratamiento 40/30 psi/seg, (b) 40/40 psi/seg y (c) 40/50 psi/seg.

4.2.5.2.3 Tratamientos de 50 psi

En la figura No.8 se observa que la papa frita (d) presenta una coloración mas uniforme y clara que las imágenes (e) y (f); debido a que el tratamiento aplicado al producto presentado en la imagen (d) extrajo una mayor cantidad de almidón al momento de hacer el lavado de las hojuelas.

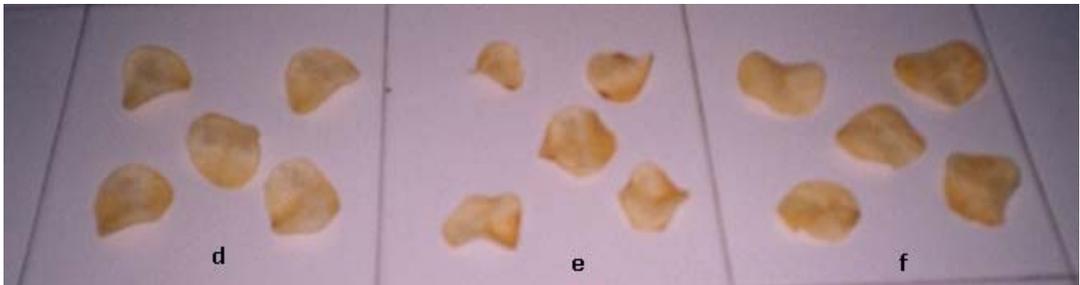


Figura No.8. Papas fritas con diversos tratamientos. (d) 50/30 psi/seg, (e) 50/40 psi/seg, (f) 50/50 psi/seg.

4.2.5.2.4 Tratamientos de 60 psi

En la figura No. 9 se puede observar que el tratamiento de esreado que eliminó la mayor cantidad de almidón fue el (g) ya que presenta una coloración mas uniforme, igual que las imágenes (h), (i) son muy claras, debido a la alta extracción del almidón; Sin embargo es importante resaltar que a esta presión además de quitar el exceso de almidón tambien se provocan rupturas en la hojuela quitando fibras reduciendo con ello el peso de la misma. Así como también se arroja una mayor cantidad de agua debido a la presión a la que es expulsada.

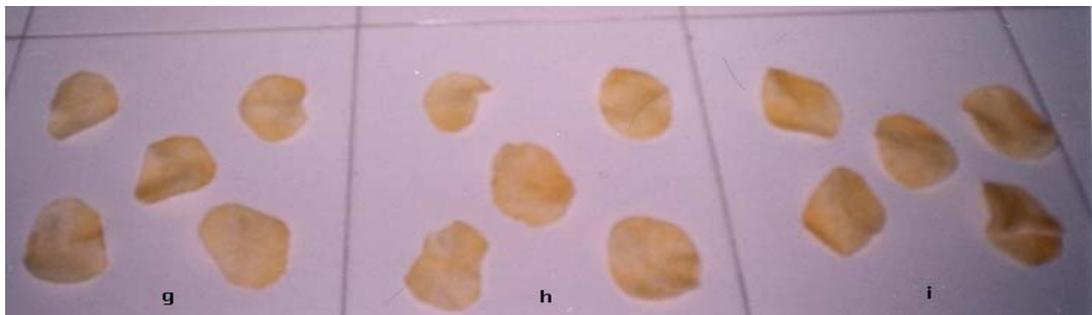


Figura No. 9. Papa frita con diversos tratamientos de esreado. (g) 60/30 psi/seg, (h) 60/40 psi/seg, (i) 60/50 psi/seg.

4.3 ETAPA 3: ANALISIS DE AGUAS ALMIDONOSAS

4.3.1 Filtración

La filtración se realizó con tela muselina y con ayuda de una bomba de vacío para eliminar las fibras de papa y algún otro material extraño. Después se volvió a filtrar pero ahora en un filtro de papel #1 y también con ayuda de una bomba de vacío. El agua salió muy cristalina y se realizó una prueba cuantitativa de almidón para ver si el agua contenía almidón resultando negativa. Además el pH del agua no varió significativamente en relación al agua corriente que se utilizó. En el siguiente cuadro se muestran los valores del pH de las aguas analizadas.

Tipo de agua	pH
Agua corriente	7.81
Agua filtrada que contenía al almidón	7.63

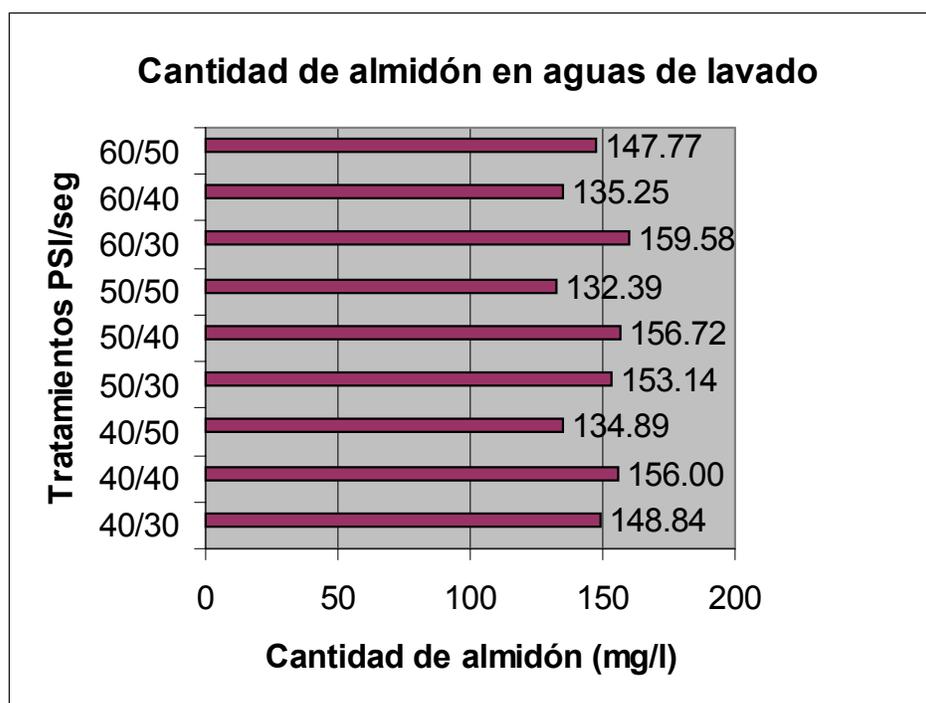
Cuadro No.17. Valor del pH del agua corriente y agua filtrada

Por lo cual, se puede sugerir que el agua filtrada puede servir para realizar el primer lavado de la papa (eliminar tierra) con el fin de que el agua que se emplea para esprear las hojuelas de papa pueda utilizarse en ese proceso y ahorrar una importante cantidad de agua.

4.3.2 Cuantificación de almidón

Las lecturas de absorbancia a 620 nm de las aguas almidonosas indican la cantidad de almidón presente en las mismas. Las lecturas se comparan contra una curva de calibración para cuantificar el almidón presente en el agua de lavado.

En la gráfica 4 es posible apreciar que el tratamiento de 60 psi durante 30 segundos por lado fue el que extrajo la mayor cantidad de almidón de la hojuela (159.58 mg/l) seguido por el tratamiento de 50 psi/40 segundos por lado (156.72 mg/l) y el de 40 psi/40 segundos por lado (156 mg/l).



Gráfica No. 4. Cantidad de almidón en aguas de lavado (mg/Lt) según el tratamiento empleado

Se realizó un análisis estadístico de bloques completamente al azar, el cual indica que no existe diferencia significativa entre las muestras y por lo tanto se puede emplear cualquier tratamiento para el lavado de las hojuelas. Sin embargo, como se observó en la gráfica 4

operacionalmente si hay diferencia por lo tanto es conveniente emplear el tratamiento seleccionado.

4.4 ETAPA 4: DEGRADACIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA A GLUCOSA

Se utilizaron las concentraciones de enzimas especificadas por el fabricante. Para la alfa amilasa, según el fabricante una unidad hidroliza 1.0 mg de maltosa a partir de almidón en 3 minutos a un pH de 6.9 y una temperatura de 20°C. Se utilizó la alfa amilasa con el fin de hacer un rompimiento de los enlaces glucosídicos, para hacer mas fácil la degradación por la glucoamilasa. La cantidad de alfa amilasa fue del 0.15% del peso del almidón a degradar. La glucoamilasa degrada al almidón y la maltosa producida por la alfa amilasa para convertirla a glucosa.

En el cuadro 18 se muestra que mientras que la concentración de almidón disminuye, la producción de glucosa aumenta, esto debido a la acción de la enzima alfa amilasa y de la glucoamilasa. El tiempo de mayor producción de glucosa fue de 8 hrs, en donde también la concentración de almidón disminuye y llega al punto en que permanece constante.

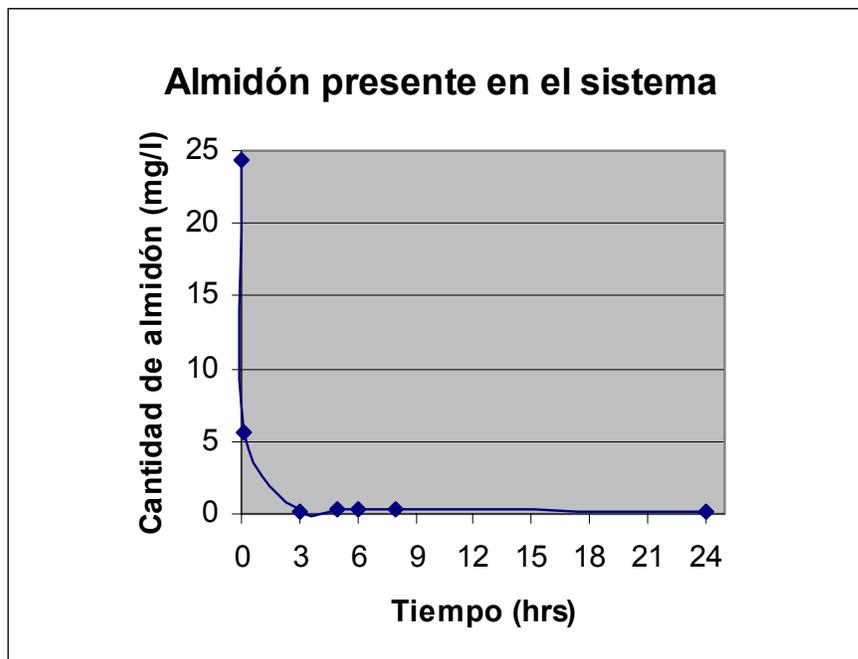
TIEMPO (hrs)	Almidón degradado (mg/l)	Glucosa producida (mg/l)
-------------------------	---	-------------------------------------

0	24.3	26
0.10	5.60	870
3	0.24	3851
5	0.25	4220
6	0.25	4294
8	0.28	4932
24	0.23	4203

Cuadro No.18. Degradación de almidón y producción de glucosa en relación al tiempo con una concentración de glucoamilasa del 0.15 %

4.4.1 Almidón presente en el sistema

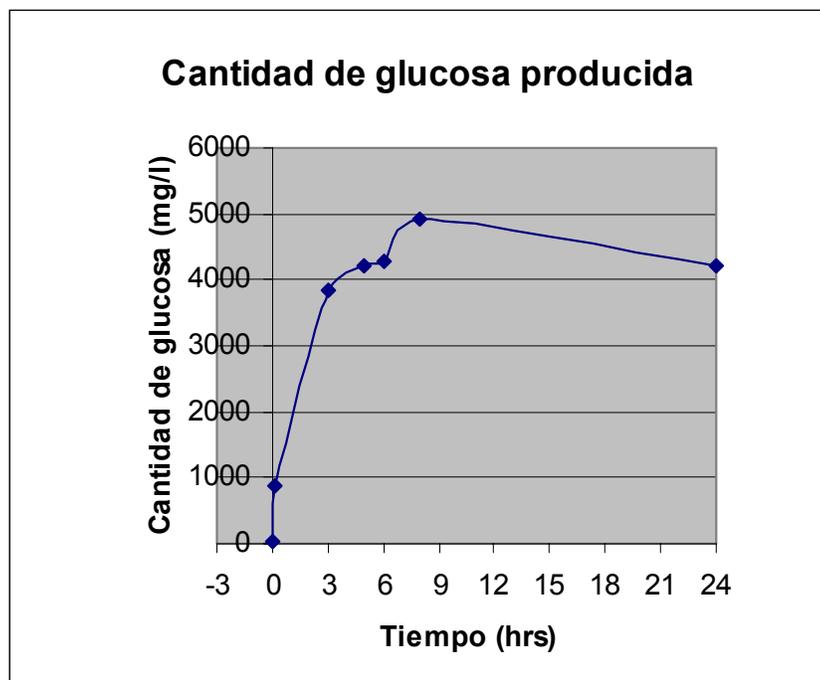
Como se puede observar en la gráfica 5, la cantidad de almidón disminuye rápidamente, partiendo desde un valor de 24.3 mg/l hasta que en un periodo de 3 horas llega a un valor de 0.24 mg/l el cual, es casi constante para los tiempos de 5, 6, 8 y 24 hrs. La cantidad de almidón todavía presente en el sistema (la cual es mínima) posiblemente no fue degradada debido a que la glucoamilasa fue inhibida por algún otro tipo de enzimas como la transglucosidasa, la cual toma como sustrato a la glucosa para producir maltosa (Greenwood, 1970).



Gráfica No. 5. Almidón degradado presente en el sistema con relación al tiempo

4.4.2 Cantidad de glucosa producida

En la gráfica 6 se puede observar que el periodo de mayor producción de glucosa se encuentra a las 8 hr de incubación del sistema, sin embargo éste valor disminuye a las 24 hrs, esto puede ser debido a la acción de la transglucosidasa, la cual va a degradar la glucosa para formar maltosa, panosa y otros oligosacáridos.



Gráfica No. 6. Cantidad de glucosa producida en mg/l con relación al tiempo

4.5 EL PRODUCTO FINAL

4.5.1 Características del producto final

El producto final fue un jarabe glucosado con un ED de 42 el cual presenta las siguientes características:

Precipitado	Blanco
Contenido de azúcares totales	8208 mg/l
Contenido de glucosa	4932 mg/l
pH	4.7

Cuadro No.19. Características del jarabe glucosado

4.6 ESCALAMIENTO INDUSTRIAL

Si se empleara un tratamiento de 40 psi/40 seg por lado, se podría obtener una importante cantidad de almidón proveniente de las aguas residuales del lavado de las hojuelas de papa.

Algunas empresas europeas procesan alrededor de 3 toneladas diarias, si utilizamos esa cantidad para realizar los cálculos se obtendrían mensualmente alrededor de :

468 kg de almidón de los cuales mediante la acción de la alfa amilasa y la glucoamilasa pueden convertir hasta:

2308.176 kg de glucosa

Se utilizarían alrededor de 3.46 Kg de glucoamilasa y la misma cantidad de alfa amilasa.

El elevado costo de la glucoamilasa se debe a que es enzima para uso de laboratorio, sin embargo industrialmente se venden por paquetes mas grandes y por consiguiente mas baratos.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Por lo tanto la investigación realizada arroja las siguientes conclusiones:

- **La papa óptima para la elaboración de hojuelas fritas es la variedad *Atlantic*, debido a que contiene una humedad baja (70%) y un alto contenido de sólidos (alrededor del 30%) los cuales favorecen el rendimiento del producto final (Lister & Monro, 2000). Este aspecto es muy importante, ya que no con cualquier variedad de papa se puede elaborar este producto porque disminuye el rendimiento y por lo tanto se necesitará una mayor cantidad de papas para producir la misma cantidad que la papa *Atlantic*. La relación de freído con la papa *Atlantic* es de 3:1 (3 partes de papa fresca produce 1 de hojuela frita). Las otras variedades generalmente tienen una relación de 4:1.**
- La papa empleada en la presente investigación fue la variedad *Atlantic*. La cual presentó un porcentaje de humedad del 70% el cual es considerado como bajo. Esta papa fue cultivada en la región de Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León.
- El grosor mas apropiado para la obtención de frituras es de 1.52 mm, ya que fue posible la elaboración de una papa no grasosa con un 33% de absorción de aceite contra alrededor de un 50% en grosores inferiores y superiores a éste.

Resultó una papa delgada con textura firme y crujiente, sin ámpulas y similar a la hojuela de papa frita comercial líder en el mercado

- De acuerdo a los tratamientos de tiempo y presión de esparado con agua, el óptimo fue el de 40 psi/40 seg por lado, ya que elimina el exceso de carbohidratos susceptibles al proceso de caramelización resultando una hojuela de color amarillo-dorado, textura firme y crujiente. Los tratamientos con presiones mas altas eliminan fibrosidades de la hojuela, lo que contribuye a que el rendimiento del producto disminuya.
- Por otro lado, a presiones bajas y tiempos cortos aún quedan remanentes de carbohidratos, los cuales al momento del freído originan coloraciones indeseables.
- El tiempo de freído fue de 60 segundos con una carga de 10 hojuelas de papa a una temperatura de 190°C y fue determinado en base a la obtención de un producto con las siguientes características: hojuela delgada, quebradiza, de color claro, forma cóncava y agradable a la vista.
- Con el tratamiento de 40 psi/40 seg. por lado fue posible obtener una coloración amarilla-dorada, la cual, al ser leída en la escala de L,a,b presentó un valor de L de 60.36; a de -1.99; b de 17.34; éstos valores son similares a los estándares de la elaboración de papas fritas (L=60). Una hojuela sin tratamiento de

espreadado tuvieron valores de L de 47.34 lo que demuestra que ésta operación es favorable para el proceso en cuestión.

- En el proceso de elaboración de hojuelas de papas fritas se generan cantidades considerables de aguas almidonosas que pueden ser consideradas como contaminantes al ser vertidas al drenaje municipal por lo cual es necesario tratarlas para evitar estos problemas de impacto ambiental.
- La alternativa evaluada en la presente investigación es una filtración. Durante este proceso se elimina el almidón del agua mediante filtración con tela y posteriormente con filtro de papel. El agua filtrada presenta un pH similar al del agua corriente y no contiene almidón, ya que fue verificada con una prueba cuantitativa. Esta agua puede recircularse para realizar el primer lavado de las papas con el fin de eliminar la tierra y ahorrar una importante cantidad de agua.
- Durante la degradación del almidón para convertirlo a glucosa, el tiempo óptimo es de 8 hrs a una temperatura de 55°C con una concentración de α -amilasa y de glucoamilasa del 0.15%. ya que se obtiene una alta producción de glucosa y una disminución casi total del almidón.

- El producto final es un jarabe glucosado con un ED de 42. Con un alto contenido de glucosa y tiene numerosos usos tanto en la industria alimenticia como en la farmacéutica. El jarabe glucosado tiene un costo aproximado de 300 a 400 dólares por tonelada y la dextrosa monohidratada (utilizada mas comúnmente en la industria farmacéutica) tiene un costo de alrededor de 700-1200 dólares por tonelada.
- Por lo cual es atractivo el proceso, ya que una planta promedio procesa alrededor de 3 toneladas de papa, lo que al aplicar el tratamiento de 40PSI/40seg por lado representaría 468 kg de almidón al mes y al convertirlo en dextrosa monohidratada se obtendrían 2308.176 kg al mes.

CAPITULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Análisis de la cadena de edulcorantes. (2000) Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentación. Revista No. 7.
www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revista/r_07_indice.htm
2. A.O.A.C. 1980. METODOS OFICIALES DE ANALISIS. Association of Oficial Agricultura Chemists. Wasshington, D.C.U.S.A.

3. Asociación de productores de papa & Consejo nacional de ciencia y tecnología. Reunión sobre investigación y análisis de la problemática de papa. UAAAN.
4. Augustin, J. (1975) Variations in the nutritional composition of fresh potatoes. *J. Food Sci.* 40: 1295-9
5. Badui Dergal Salvador. (1996) *Química de los alimentos*. Pearson education. 3 ed. Mexico.
6. Belitz H.D., Grosch, W. (1997). "Química de los alimentos". Ed Acribia, S.A., Zaragoza.
7. Booth H. Robert & Shaw L. Roy. *Principios de almacenamiento de papa*. Centro Internacional de la papa. Ed. Agropecuaria Hemisferio Sur.
8. Brautlecht. C.A. (1953) *Starch, its sources, production and uses*. Reinhold Publishing, New York
9. Burton, W.G. (1966). *The potato*, 2nd edn. Drukkerij Veenman BV, Wageningen
10. Burton, W.G. (1978). Post – harvest behaviour and storage of potatoes. In Coaker, T.H. (ed) *Applied Biology*, vol. 2. Academic Press, New York.
11. CONPAPA (1994) *Memorias, V Congreso Nacional de productores de papa*. CONPAPA, México.
12. CONPAPA. (1999) *Memorias, IX Congreso Nacional de Productores de Papa*. CONPAPA, México.
13. CONPAPA. (Febrero 1999) *Historia de la Papa*. Revista "Puras Papas", CONPAPA. México.

14. Costa F., García C., Hernández T., Polo A. (1991). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC
15. Chappell, G.M. (1958). The potato as a food. Potato Marketing Board, London
16. Dubois, M. et al (1956). "Colorimetric method for determination of sugars and related substances" Anal. Chem 28:530
17. Desrosier W. Norman. (1989) Elementos de la tecnología de alimentos. Compañía Editorial Continental.
18. Dodge, Bertha S. (1970). Potatoes and People. Little, Brown and Company, Boston - Toronto. Social history of the potato.
19. Duplessis, P.M.; Marangoni, A.G.; Yada, R.Y. (1996). A mechanism for low temperature induced sugar accumulation in stored potato tubers: the potential role of the alternative pathway and invertase. American Potato Journal. 73 (10); 403-494.
20. Food Science and Technology. (1975) A series of monographs. Enzymes in food processing. Second edition. Academic Press. New York.. USA
21. Fischer, E.H. & Stein, E.A. (1960) The Enzymes. (P.D. Boyer, H.A. Lardy, and K. Myrbaeck, eds.) 2nd ed., Vol. 4. Academic Press, New York
22. Fleming, I.D. (1968) Starch and its derivatives (J.A. Radley, ed.) 4th ed. Chapman & Hall, London.
23. Galliard, T. (1973). Lipids of potato tubers. 1. Lipid and fatty acid composition of tubers from different varieties of potato. J.Sci. Food Agric. 24: 617-22
24. Greenwood, C.T. (1970). In "The carbohydrates" (W. Pigman, D. Horton & A. Herp, eds.) Academic Press, New York

25. Hermida, J.R. (1993). Tratamiento y aprovechamiento del orujo de aceituna. *Tecnologías complementarias en la industria alimentaria*, 137-148.
26. INEGI. (2001) Encuesta industrial mensual. (www.inegi.gob.mx)
27. INIFAP (1997). Programa Nacional de investigación en el cultivo de papa. *Publicación especial #13 Abril. México.*
28. Isherwood, F.A. (1976). Mechanism of starch-sugar interconversion in *S. tuberosum*. *Phytochemistry* 15, 33-41
29. Kooi, E.R. & Armbruster F.C. (1967) *Starch: chemistry and Technology*. R.L. Whistler & Paschall E.F., eds., Academic Press, New York, Vol. II
30. Lampitt, L.H. & Goldenberg, N. (1940). The composition of the potato chem.. *Ind.* 59: 748-61
31. Lázaro L., Arauzo J. (1994). Aprovechamiento de residuos de la industria de conservas vegetales. *Hidrólisis enzimática. Zulia* (12), 227-240.
32. Lister Carolyn, Monro John. (Abril 2000) *Revista "Commercial Grower", Crop & Food Research. Nueva Zelanda.*
33. Lujan, L. (1994). La Ecología de la Papa. *Rev. Papa* 12: 4- 16.
34. MacAllister, R.V. (1980) *Immobilized Enzymes for food processing*. W.H. Pitcher, Jr, Ed, CRC Press, Boca Raton, Florida
35. Ostolaza M. (1998). Aprovechamiento energético de residuos orgánicos. *Ingeniería química*, 30, 55-160.

36. Pacific Northwest Extension Publication. (1985). Potatoes: Storage and Quality Maintenance in the Pacific Northwest. PNW 257. Pacific Northwest Cooperative Extension (WSU, OSU, UI).
37. Pereira, A.; Tai, G.C.; Yada, R.Y., Tarn, T.R.; Coffin, R.H. (1994). Potential for improvement by selection for reducing sugar content after cold storage for three potato populations. *Theor. Appl. Genet.* 88(6,7); 678-684.
38. Porter, W.L. Fitzpatrick, T.J. & Talley E.A. (1964). Studies of the relationship of specific gravity to total solids of potatoes. *Am. Potato J.* 41: 329-36
39. Radley, J.A., ed. (1968). "Starch and its derivatives" 4th ed. Chapman & Hall, London
40. Rentshler, D.F. et al. (1962) U.S. Patent 3,039,935; *Chem. Abstr.*, 57, 10085i
41. Robyt, J.F. & Whelan W.J.(1968). "Starch and its derivatives". J.A. Radley, ed., Chapman and Hall, London, 4th edition.
42. Sagarpa (1998). Mayo. *Revista Claridades Agropecuarias*. Papa y Cebada www.infoasercas.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=57.
43. Schéele, C.von, Svensson, G. & Rasmusson, J. (1937) Determination of starch contents and dry matter of the potato of specific gravity. In German. *Landw. VersSta* 127: 67-96
44. Schwimmer, S., Bevenue, A., Weston, W.J. & Porter, A.L. (1954) Survey of major and minor sugar and starch components of the white potato. *Agric. Food Chem.* 2, 1284-90

45. Smith, O.; Nash, L.B. (1942). Potato quality: relation of time of planting, time of harvest, and fertilizer treatment to composition and cooking quality. *J. Am. Soc. Agron.* 34(5); 437-451.
46. Smith, O. (1977) Potatoes: production, storing, processing, 2 nd edn. AVI Publishing Co. Inc. Westport. CT.
47. Starch.(1984) Chemistry and technology. Second edition. Edited by Roy L. Whistler et al. Academic Press, Inc. USA.
48. Talburt W.F. and Smith O.. (1967) Potato processing. Avi Publishing. Westport, Connecticut
49. UNPH (1982). Asamblea Nacional Especializada de Productores de Papa. Mercado Nacional. Guadalajara, Jal. México.
50. Whitaker, J.R. (1972) Principles of Enzymology for the Food Sciences. Dekker, New York
51. Whistler, R.L. and Paschall, E.F., eds. (1965) "Starch: Chemistry and Technology ". Vol.1 . Academic Press, Nueva York.
52. Woodbury, G.W.and Kraus, J.E. (1975). The 'Irish' Potato: a brief history ... around the world and in Idaho. Miscellaneous Series No. 21. Idaho Agricultural Experiment Station publication.
53. Woolfe, Jennifer A. (1987). The potato in the human diet. Cambridge University Press. Cambridge, London, 231 p.
54. Zaborsky O.R. (1973) Immobilized enzymes. CRC Press, Ohio

APÉNDICE I

Determinación de Cenizas

Se determinó mediante el método de calcinación por medio de mufla. Se pesaron 4.2 gramos de muestra fresca y se colocaron en un crisol de porcelana (previamente sometido a peso constante) enseguida se introdujo en una mufla a una temperatura de 600° C por 5 horas. El porcentaje de cenizas en la muestra se calculó mediante la expresión:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{crisol con ceniza} - \text{crisol solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Determinación de Proteína Cruda

La determinación de proteína cruda se realizó por el método Kjeldhal en el cual se colocaron 12 gramos de muestra en un matraz Kjeldhal, 6 perlas de vidrio, 5 gr., una cucharada de catalizador de selenio y 30 ml., de ácido sulfúrico concentrado, al mismo tiempo se corre un blanco con todos los reactivos excepto la muestra. Se colocaron los matraces Kjeldhal a una temperatura de 100° C hasta obtener una mezcla color verde translúcida y un color cristalino en el blanco. Una vez que se enfriaron las muestras se adicionaron 300 ml de agua destilada, 110 ml de hidróxido de sodio al 45 % y 5 granallas de zinc. Posteriormente se obtuvieron 250 ml de destilado de cada muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. y se titularon con ácido sulfúrico 0.099 Normal (N).

El nitrógeno obtenido se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml. H}_2\text{SO}_4 - \text{bco}) * (\text{NH}_2\text{SO}_4) * (0.014)}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Finalmente el porcentaje de proteína cruda se calculó multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor de 6.25

3.4.1.1.3 Determinación de grasa

Se determinó mediante el método Soxhlet. Se tomaron 10 gramos de muestra fresca, colocados en un dedal de celulosa e introducido a un sifón y unidos a un matraz bola fondo plano (previamente sometido a peso constante) y adicionó con 150 ml de hexano.

Enseguida se insertó la parte superior del sifón a un refrigerante y la muestra se refluyó por 14 horas a una temperatura de 60° C. Después, se evaporó el hexano contenido en el matraz. Enseguida se introdujo en una estufa a una temperatura de 105° C por 12 hrs. Se enfrió en un desecador (silica-gel) y se registró el peso. El porcentaje de grasa obtenido fue calculado mediante la expresión:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{peso matraz con muestra} - \text{peso de matraz solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Determinación de fibra cruda

Se determinó mediante el método general de la AOAC (1970). El análisis de fibra cruda consiste en 2 fases:

En la primera fase, se colocaron 2 gramos de muestra desgrasada en un vaso de Berzelius y 100 ml de ácidos sulfúrico 0.255 N., éste se sometió a ebullición por 30 minutos y después se lavó con 100 ml., de agua destilada caliente. En la segunda fase se agregaron 100 ml. de NaOH 0.313 N y se colocó en el mismo vaso, enseguida se calentó a ebullición por 30 min. Y se lavó con 100 ml. de agua destilada caliente. La fibra obtenida se colocó en un crisol de porcelana y se introdujo en una estufa a una temperatura de 105° C por 24 horas. Después de este tiempo se registro el peso del crisol y finalmente la muestra se calcinó a 600° C por 5 horas en una mufla. El porcentaje de fibra se calculó mediante la formula:

$$\% \text{ Fibra} = \frac{\text{peso crisol muestra seca} - \text{peso crisol con cenizas}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Determinación del Contenido de Humedad

Se determinó por el método de destilación azeotrópica con la ayuda del tubo de Vidwell, en el cual, se toman 10 grs de muestra en fresco, se le agrega tolueno hasta cubrir la muestra y se colocó en un matraz bola en el cual se conectó el tubo de Vidwell , éste tiene un valor numérico para conocer la cantidad de humedad.

Contenido de Azúcares Totales

Se determinó por el método de Dubois. En un baño de hielo se coloca un tubo, se adiciona 1 ml de muestra y se temperiza por 1 min. Se adicionan 2 ml de fenol sulfúrico (solución de H₂SO₄ con fenol a una concentración de 1 mg/ml; debe usarse durante las 24 hrs iniciales de la preparación) lentamente por las paredes del tubo. Se agita en el baño de hielo. Si es muy concentrado se realizan diluciones. Se pone en un baño a ebullición durante 5 minutos.

Se sacan y enfrían a temperatura ambiente. Se lee en absorbancia a 480 nm en el espectrofotómetro. Para preparar la muestra en fresco se realiza en una relación de 1:4 masa/volumen. Se toman 10 grs de muestra, licuar con 40 ml de agua. Se filtra con papel y el filtrado se recibe en un recipiente con hielo. Tomar la muestra y refrigerar.

Contenido de Azúcares Reductores

Se determinó por el método de DNS propuesto por Miller. En el cual, en un tubo de ensaye se coloca 0.5 ml de la muestra y 0.5 ml de reactivo DNS (contiene DNS

1%, NaOH 1%, sulfito de sodio 0.05% y fenol 0.2%). Se pasan a un baño en ebullición por 5 minutos. Se sacan y se colocan en un baño con hielo y agua durante 2 minutos. Transcurrido ese tiempo, se ponen 5 ml de H₂O destilada a cada tubo y se agitan en el vortex. Se leen a 540 nm en el espectrofotómetro. Se comparan contra una curva de calibración para saber la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra.

Determinación de almidón en muestra fresca

Se tomaron 10 grs de muestra de papa. Se homogenizaron muy bien con 100 ml de agua destilada. Se tomaron 4 ml de ésta solución, se agregaron 6 ml de agua destilada y 10 ml de solución stock diluída (se disolvieron 5.5 grs de cristales de yodo y 11 grs de yoduro de potasio en agua, se aforó a 250 ml con agua destilada; se tomaron 2 ml de solución stock y se añadieron 98 ml de agua destilada). Se agitó muy bien con la ayuda del Vortex y se hicieron las lecturas en el espectrofotómetro a 620 nm. Los resultados obtenidos se compararon contra una curva de calibración para hacer la cuantificación del almidón.

ANALISIS ESTADÍSTICO

PESO DE LAS PAPAS FRITAS

REPETICIONES

TRATA.		
1	10.9300	10.5900
2	11.1400	10.8400
3	11.1600	10.7000
4	10.5700	9.7900
5	10.3500	9.9500
6	10.4200	10.2100
7	10.8900	10.2800
8	10.8400	10.2500
9	10.7500	10.7700

ANALISIS DE VARIANZA						
FU	GL	SC	CM	F	P>F	
TRATAMIENTOS	8	1.543823	0.192978	1.7809	0.203	
ERROR	9	0.975220	0.108358			
TOTAL	17	2.519043				

C.V. = 3.11 %

TABLA DE MEDIAS		
TRATA.	REP.	MEDIA
1	2	10.760000
2	2	10.990000
3	2	10.930000
4	2	10.180000
5	2	10.150000
6	2	10.315001
7	2	10.585000
8	2	10.545000
9	2	10.760000

TIEMPO DE FREIDO

VARIABLE = Tiempo de freido en hojuelas (seg)

TRATA.

1	50.0000	52.0000
2	60.0000	64.0000
3	68.0000	70.0000
4	72.0000	71.0000
5	65.0000	65.0000
6	64.0000	65.0000
7	68.0000	68.0000
8	70.0000	69.0000
9	60.0000	61.0000
10	68.0000	66.0000

T A B L A D E M E D I A S

TRATA.	REP.	MEDIA
1	2	51.000000
2	2	62.000000
3	2	69.000000
4	2	71.500000
5	2	65.000000
6	2	64.500000
7	2	68.000000
8	2	69.500000
9	2	60.500000
10	2	67.000000

A N A L I S I S D E V A R I A N Z A

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	9	633.203125	70.355904	43.9724	0.000
ERROR	10	16.000000	1.600000		
TOTAL	19	649.203125			

C.V. = 1.95 %

COMPARACIÓN DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA	
4	71.5000	A
8	69.5000	AB
3	69.0000	AB
7	68.0000	B
10	67.0000	BC
5	65.0000	C
6	64.5000	CD
2	62.0000	DE
9	60.5000	E
1	51.0000	F

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

LAVADOS DE HOJUELAS DE PAPA

VARIABLE = Cantidad de almidon

TRATA.			
1	0.0840	0.0800	0.1020
2	0.0820	0.1120	0.0920
3	0.0570	0.0980	0.0720
4	0.0820	0.1010	0.0950
5	0.0940	0.0980	0.0960
6	0.0660	0.0680	0.0860
7	0.0900	0.1040	0.1020
8	0.0740	0.0690	0.0850
9	0.0840	0.0920	0.0870

ANALISIS DE VARIANZA					
FU	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	8	0.002274	0.000284	2.2029	0.078
ERROR	18	0.002323	0.000129		
TOTAL	26	0.004597			

C.V. = 13.04 %

TABLA DE MEDIAS		
TRATA.	REP.	MEDIA
1	3	0.088667
2	3	0.095333
3	3	0.075667
4	3	0.092667
5	3	0.096000
6	3	0.073333
7	3	0.098667
8	3	0.076000
9	3	0.087667

COLOR DE HOJUELAS VALOR L.

TRATA.						
1	49.2100	47.2250	48.8600	42.0300	45.1000	51.6600
2	67.8200	59.8300	52.1200	58.4800	59.1300	61.1700
3	65.1000	60.6600	58.5900	54.9000	62.7700	60.1400
4	67.2600	63.9200	63.1300	63.9700	69.1200	64.0100
5	56.9500	66.6500	60.1200	67.7500	65.5400	60.0200
6	56.4700	58.5700	58.6100	62.3100	64.7400	65.4600
7	59.2100	65.2300	65.9300	62.3700	64.1300	65.9100
8	57.9600	59.7800	58.4300	58.0500	57.7500	65.0500
9	56.8500	49.1800	64.2400	61.5900	56.5700	51.8400
10	63.2100	55.1100	56.9600	66.1600	57.4000	53.2800

ANÁLISIS DE VARIANZA					
FU	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	9	1330.468750	147.829865	9.2820	0.000
ERROR	50	796.328125	15.926562		
TOTAL	59	2126.796875			

C.V. = 6.70 %

TABLA DE MEDIAS		
TRATA.	REP.	MEDIA
1	6	47.347500
2	6	59.758331
3	6	60.359997
4	6	65.235001
5	6	62.838333
6	6	61.026661
7	6	63.796665
8	6	59.503338
9	6	56.711666
10	6	58.686665

COMPARACIÓN DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA
4	65.2350 A
7	63.7967 AB
5	62.8383 ABC
6	61.0267 ABCD
3	60.3600 BCD
2	59.7583 BCD
8	59.5033 BCD
10	58.6867 CD
9	56.7117 D
1	47.3475 E

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TRATA.						
1	6.3800	5.9000	6.6100	8.9600	7.3500	6.3600
2	-2.8300	-2.1900	-2.1600	-2.5000	-2.3100	-1.9700
3	-2.0500	-2.1300	-1.9300	-1.7000	-1.9900	-2.1700
4	-2.3100	-1.7000	-2.2700	-1.3700	-2.5500	-2.3000
5	-1.5200	-2.7500	-1.9400	-2.7100	-2.4300	-1.9800
6	0.0800	-1.0800	-1.7500	-1.9500	-1.9700	-2.1100
7	-1.3100	-1.7000	-1.6500	-1.5700	-1.4500	-1.9500
8	-2.0600	-1.7100	-1.8100	-1.8300	-2.2100	-2.5800
9	-2.5400	-2.3700	-3.6600	-3.0800	-2.5500	-2.4900
10	-1.6300	-1.7900	-0.9100	-1.6500	-1.1300	-1.5300

COLOR DE HOJUELAS VALOR A

ANÁLISIS DE VARIANZA					
FU	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	9	438.959320	48.773258	162.6553	0.000
ERROR	50	14.992828	0.299857		
TOTAL	59	453.952148			

C.V. = -49.68 %

TABLA DE MEDIAS		
TRATA.	REP.	MEDIA
1	6	6.926667
2	6	-2.326667
3	6	-1.995000
4	6	-2.083333
5	6	-2.221667
6	6	-1.463333
7	6	-1.605000
8	6	-2.033333
9	6	-2.781667
10	6	-1.440000

COMPARACIÓN DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA	
1	6.9267	A
10	-1.4400	B
6	-1.4633	BC
7	-1.6050	BCD
3	-1.9950	BCDE
8	-2.0333	BCDE
4	-2.0833	CDE
5	-2.2217	DEF
2	-2.3267	EF
9	-2.7817	F

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

COLOR DE HOJUELAS VALOR B

TRATA.						
1	30.3700	30.2000	30.2000	28.2100	27.0400	30.6200
2	18.7600	21.4600	13.6600	17.0500	19.6500	20.5100
3	18.0900	18.5700	15.4000	16.9200	19.0600	16.0400
4	23.0600	21.0900	16.1300	25.7300	18.8300	16.5600
5	21.6600	23.3800	23.0200	19.0800	23.1000	22.3600
6	26.7700	19.7100	19.9900	20.1100	21.4400	21.0600
7	21.6200	19.0500	20.8500	19.4900	24.5200	20.9000
8	15.0100	21.5800	16.5800	20.9100	14.6100	23.6900
9	18.3300	12.7100	18.0900	17.3300	18.2500	13.0400
10	20.7100	16.2800	25.1400	25.1300	23.2800	17.3000

ANALISIS DE VARIANZA					
FU	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	9	714.273438	79.363716	10.3630	0.000
ERROR	50	382.917969	7.658360		
TOTAL	59	1097.191406			

C.V. = 13.40 %

TABLA DE MEDIAS		
TRATA.	REP.	MEDIA
1	6	29.440001
2	6	18.515001
3	6	17.346666
4	6	20.233332
5	6	22.100000
6	6	21.513334
7	6	21.071667
8	6	18.730001
9	6	16.291666
10	6	21.306665

COMPARACIÓN DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA	
1	29.4400	A
5	22.1000	B
6	21.5133	BC
10	21.3067	BC
7	21.0717	BC
4	20.2333	BCD
8	18.7300	CDE
2	18.5150	CDE
3	17.3467	DE
9	16.2917	E

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

CARACTERISTICAS DE LAS ENZIMAS

ALFA AMILASA (SIGMA)

No. A - 3051
(EC 3.2.1.1)
Crude

From Bacillus species
Type XI-B

Contiene almidón de maíz

1 millon de unidades
45 grs. Sólido
22.5 unidades/mg sólido
900 unidades/mg prot.

Una unidad hidroliza 1.0 mg de maltosa a partir de almidón en 3 minutos a un pH de 6.9 a 20°C

Lot. 107F- 06592

Almacenar a alrededor de 0°C

GLUCOAMILASA (SIGMA)

A - 7255 10 grs Lot 122K1561

Amyloglucosidase
(EC 3.2.1.3)
From Rhizopus mold (9032-08-0) EC No. 232-877-2

Contiene aproximadamente 35% de proteína; tierra diatomaceos, almidón y azúcar.

21,100 unidades/ grs sólido

Una unidad libera 1.0 mg de glucosa a partir de almidón en 3 minutos a pH de 4.5 y a 55°C

Almacenar de 2-8°C

