UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA QUÍMICA

Patrocinante

Ingeniero Magíster Eduardo Castro M.
Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química
Universidad de Chile.

Director (es)

Doctor Franco Pedreschi P.
Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Universidad de Santiago de Chile.

Ingeniero Magíster Eduardo Castro M.
Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química
Universidad de Chile.

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ACEITE EN RODAJAS DE PAPA FRITA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS.

CLAUDIA E. COCIO PULGAR

Santiago, Chile

2006

A mi familia,

Por su apoyo y compañía incondicional …

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos al Proyecto FONDECYT N° 1030411 por el financiamiento otorgado para la realización de esta memoria y a todas aquellas personas que me ayudaron de una u otra forma en la culminación de mi formación profesional.

A mi profesor patrocinante Dr. Franco Pedreschi P. por su apoyo y confianza, al profesor y Dr. Pedro Moyano, por su buena disposición y conocimientos, Al profesor y Dr. Rubén Bustos, por la ayuda brindada y facilitación del laboratorio y equipos para la realización de pruebas de extracción de aceite.

A José Jaime Arbildúa por la asistencia brindada en el uso del microscopio confocal de barrido láser, adquisición y análisis de imágenes. A Gladys Olivares, por la colaboración en la adquisición y análisis de las imágenes de microscopia de barrido electrónico. A José Romeo, por la ayuda en la interpretación estadística de los datos experimentales.

A mis compañeros y amigos de labores en la Universidad de Santiago, por su apoyo y compañía durante el proceso, así como también por la ayuda y buenos momentos. También agradezco el apoyo entregado por los encargados del Laboratorio de Análisis de Alimentos y Bioquímica, Cristián Sáez y Marcos Reyes de la Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile.

A mis amigos, familia y padres en particular por su apoyo incondicional y comprensión entregada durante mis años de estudio.

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS……..... VII
INDICE DE FIGURAS…….. VIII
INDICE DE GRÁFICOS……... X
INDICE DE ANEXOS……. XI
ECUACIONES…… XII
NOMENCLATURA……... XIII
RESUMEN…….. XIV
SUMARY……..... XV

I. INTRODUCCIÓN…… 1
1.1 La papa como materia prima..…….……..…..... 2
1.1.1 Antecedentes generales…….……..…. 2
1.1.2 Composición química…….. …. 5
1.2 El aceite y el proceso de fritura……...……. 6
1.2.1 El aceite como medio de fritura……..……..……... 6
1.2.2 El proceso de fritura……...…… 7
1.2.3 Transferencia de calor y masa durante la fritura……..... 10
1.2.4 Factores que afectan la absorción de aceite..…… 11
1.2.5 Mecanismo de absorción de aceite……..……. 12
1.2.6 Cinéticas de absorción de aceite…….……... 13
1.3 Microestructura en el proceso de fritura……..……... 15
1.3.1 Microscopía de barrido superficial (SEM)..……...…….…… 16
1.3.2 Microscopía confocal de barrido láser (CLSM)...……... 17
1.4 Objetivos.……..…… 20
1.4.1 Objetivo generales…….…….. 20
1.4.1 Objetivos específicos…….……..... 20
1.5 Hipótesis……. 20

II. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL..……..……. 21
2.1 Selección de las materias primas……..…. 21
2.1.1 Papas…….……..…….... 21

2.1.2 Aceite…….…….. 21
2.2 Preparación de muestras y procedimiento experimental..…….. 21
2.2.1 Obtención de rodajas de papas...……..... 21
2.2.1 Pre-tratamientos…….…….……...….. 22
2.2.3 Preparación del aceite teñido….…….….. 23
2.2.4 Fritura……... 23
2.3 Métodos de análisis...……..…. 27
2.3.1 Contenido de humedad ……..……..... 27
2.3.2 Contenido de azúcares reductores...…… 27
2.3.3 Análisis proximal……..…. 27
2.3.4 Curva de calibración para Rojo Sudán B en aceite vegetal..……..…. 27
2.3.5 Determinación de aceite superficial (AS)..…….. 28
2.3.6 Determinación de aceite absorbido (AA) y aceite estructural (AE)…. 28
2.3.7 Condiciones experimentales…….……..…….. 30
2.3.8 Análisis estadístico de datos……... 30
2.4 Observaciones microscópicas…….. 31
2.4.1 Microscopía superficial de barrido (SEM)…….……. 31
2.4.2 Microscopía confocal de barrido láser (CLSM)..…….. 31

III. RESULTADOS Y DISCUSION…...……...…… 33
3.1 Proceso de fritura……...…….…. 33
3.2 Pérdida de agua……...…….. 33
3.3 Absorción de aceite…….....…….. 35
3.3.1 Aceite total…… 37
3.3.2 Aceite superficial…… 39
3.3.3 Aceite absorbido...…….. 41
3.3.4 Aceite estructural…….. 44
3.3.5 Contenido de aceite para tiempos finales de fritura……... 47
3.4 Observaciones microscópicas…….…….……..…... 50
3.4.1 Microscopía superficial de barrido (SEM)……..…… 50
3.4.2 Microscopía confocal de barrido láser (CLSM)……... 54
3.4.2.1 Localización de aceite de rodajas de papa fritas……. 54
3.4.2.2 Topografía superficial de rodajas de papa fritas…….. 58

IV. CONCLUSIONES……..… 61

V. BIBLIOGRAFIA……..... 63

VI. ANEXOS……..…..... 66

INDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1.1 Composición química de la papa……... 5

Tabla 3.1 Contenido de aceite superficial para el tiempo final del proceso de fritura, en papa control sometida a fritura a distintas temperaturas, expresado como fracción del peso en base seca…….. 47

Tabla 3.2 Contenido de aceite absorbido para el tiempo final del proceso de fritura, en papa escaldada sometida a fritura a distintas temperaturas, expresado como fracción del peso en base seca…….. 47

Tabla 3.3 Contenido de aceite estructural para el tiempo final del proceso de fritura, en papa escaldada e inmersa en NaCl sometida a fritura a distintas temperaturas, expresado como fracción del peso en base seca……. 48

Tabla 3.4 Contenido de aceite total para el tiempo final del proceso de fritura, en papa escaldada e inmersa en NaCl sometida a fritura a distintas temperaturas, expresado como fracción del peso en base seca……. 48

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1.1. Esquema morfológico del tubérculo de la papa……..... 4
Figura 1.2.Cambios producidos por efecto de la temperatura en la microestructura de la célula……... .. 9
Figura 1.3. Diagrama de la transferencia de calor y masa durante la fritura…..... 10
Figura 1.4. Diagrama de las fracciones de aceite absorbido durante el proceso de fritura…… 15
Figura 1.5. Esquema del principio de funcionamiento de microscopio CLSM……. 19
Figura 2.1. Diagrama de bloques del proceso de fritura……. 25
Figura 2.2. Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite……. 26
Figura 2.3. Equipo de extracción de aceite Soxhtec System HT6……. 29
Gráfico 3.1. Contenido de humedad (b.s.) durante la fritura de rodajas de papas "control" en función del tiempo y temperatura del aceite……. 34
Figura 3.2. Contenido de humedad (b.s.) durante la fritura de rodajas de papas "escaldada" en función del tiempo y temperatura del aceite……... 34
Figura 3.3. Contenido de humedad (b.s.) durante la fritura de rodajas de papas "escaldada e inmersa en NaCl" en función del tiempo y temperatura del aceite…. 34
Figura 3.4. Contenido de aceite total (b.s) durante la fritura de rodajas de papas "control" en función de la humedad y temperatura del aceite……. 36
Figura 3.5. Contenido de aceite total (b.s) durante la fritura de rodajas de papas "escaldada" en función de la humedad y temperatura del aceite……..... 36
Figura 3.6. Contenido de aceite total (b.s) durante la fritura de rodajas de papas "escaldada e inmersa en NaCl" en función de la humedad y temperatura del aceite…… 36
Figura 3.7. Contenido de aceite total (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 120°C……..... 38
Figura 3.8. Contenido de aceite total (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 150°C……..... 38
Figura 3.9. Contenido de aceite total (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 180°C…….. 39
Figura 3.10. Contenido de aceite superficial (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 120°C……..... 40

Página

Figura 3.11. Contenido de aceite superficial (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 150℃……..... 40
Figura 3.12. Contenido de aceite superficial (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 180℃……..... 41
Figura 3.13. Contenido de aceite absorbido en la superficie (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 120℃…… 43
Figura 3.14. Contenido de aceite absorbido en la superficie (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 150℃……..….. 43
Figura 3.15. Contenido de aceite absorbido en la superficie (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 180℃……..…. 43
Figura 3.16. Contenido de aceite estructural (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 120℃……..... 46
Figura 3.17. Contenido de aceite estructural (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 150℃……..... 46
Figura 3.18. Contenido de aceite estructural (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos, fritas a 180℃……..... 46
Figura 3.19. (A.1), (B.1) y (C.1) Fotografía SEM de estructura superficial para rodaja de papa control, frita a 120℃, 150℃ y 180℃ respectivamente, sin lavado superficial con éter de petróleo. Aumento de 35x. (A.2), (B.2) y (C.2) Fotografía microscópica de estructura superficial para rodaja de papa control, escaldada y escaldada e inmersa en NaCl respectivamente, frita a 150℃, con lavado superficial con éter de petróleo. Aumento de 35x…… 51
Figura 3.20. Fotografía SEM de estructura superficial para rodaja de papa escaldada e inmersa en NaCl, frita a 150℃. (A) y (B) con lavado superficial con éter de petróleo y aumento de 35x y 350x respectivamente. (C) y (D) sin lavado superficial con éter de petróleo y aumento de 35x y 350x respectivamente……... 52
Figura 3.21. Fotografía SEM de estructura superficial para rodaja de papa escaldada, frita a 120℃, 150℃ y 180℃ respectivamente, sin lavado superficial con éter de petróleo. Aumento de 35x……. 53

Página

Figura 3.22. Galería de imágenes obtenidas por CLSM en modo de fluorescencia, de la distribución de aceite en rodajas de papas escaldada, fritas durante 6 minutos a 150℃, en aceite mezclado con NR……. 55

Figura 3.23. Galería de imágenes obtenidas por CLSM en modo de fluorescencia, de la distribución de aceite en rodajas de papas escaldada, fritas durante 6 minutos a 150℃, en aceite mezclado con NR y lavado con éter de petróleo posterior a la fritura durante 1hora……... 56

Figura 3.24. Reconstrucción de imágenes 3D desde la galería de imágenes correspondiente, usando el software Carl Zeiss LSM. (A) Reconstrucción 3D para rodaja de papa escaldada y frita a 150℃. (B) Reconstrucción 3D para rodaja de papa escaldada, frita a 150℃ con inmersión en éter de petróleo post-fritura……..... 57

Figura 3.25. Sección ortogonal obtenida mediante software Carl Zeiss LSM, para una galería de imágenes CLSM, obtenidas de rodajas de papa control, frita a 180℃ durante 3,5 min……... 58

Figura 3.26. Mapa de intensidad superficial de una rodaja de papa cruda. observada a 20x por CLSM en modo de reflexión……... 59

Figura 3.27. (A) Representación topográfica y (B) Mapa de intensidad superficial de una rodaja de papa escaldada y a frita a 150℃ durante 6 min, observada a 20x y obtenida por CLSM en modo de reflexión……... 60

INDICE DE ANEXOS

Página

ANEXO A
Curva de calibración para la determinación de concentración de Rojo Sudán en aceite vegetal…… 66
ANEXO B
Análisis estadístico para fracciones de aceite a través del tiempo…… 67
ANEXO C
Análisis estadístico para fracciones de aceite en el punto final del proceso de fritura…… 71
ANEXO D
Tablas de datos experimentales (expresados en base húmeda)...…….. 74
ANEXO E
Tablas de datos experimentales (expresados en base seca)….....…….. 80
ANEXO F
Gráficas del contenido de aceite en rodajas de papas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a distintas temperaturas……. 86

INDICE DE ECUACIONES

Página

Ecuación 1 Determinación de contenido de aceite superficial…….… 29

Ecuación 2 Determinación del contenido de aceite estructura……...… 29

NOMENCLATURA

Símbolo	Significado
AA	Aceite absorbido
AE	Aceite estructural
AS	Aceite superficial
AT	Aceite total
ds	Desviación estándar
EP	Éter de Petróleo
H	Humedad
NR	Nile Red
ss	Sólido seco
t	Tiempo
T°	Temperatura
x	Promedio

RESUMEN

El presente trabajo formó parte del proyecto FONDECYT N° 1030411 y contempló el estudio del proceso de fritura de papas tipo chips bajo diferentes condiciones de temperatura y pre-tratamiento.

El objetivo general de este trabajo fue determinar cinéticas de absorción de aceite, determinar la cantidad de aceite absorbido por rodajas de papa durante el proceso de fritura bajo distintas condiciones de proceso, así como caracterizar y cuantificar el aceite en sus distintas fracciones.

Para las experiencias se utilizó papas de variedad Desireé ecotipo secano provenientes de la zona sur del país, de cuya parte central se cortaron rodajas de 3 mm de espesor y 3,7 cm de diámetro; las cuales fueron sometidas a pre-tratamientos: control, escaldado y escaldado e inmersión en una solución salina; el pre-tratamiento control correspondió a papa cruda lavada con agua potable a temperatura ambiente. La fritura se realizó a las temperaturas de 120°C, 150°C y 180°C. Las rodajas de papa fueron fritas para cada condición de pre-tratamiento y temperatura de fritura a intervalos regulares, hasta alcanzar ~ 2% de humedad y posteriormente se determinó el contenido de aceite en sus distintas fracciones (aceite superficial, aceite absorbido y aceite estructural). Finalmente, se realizaron observaciones de la microestructura superficial de las rodajas de papa y la morfología superficial y localización del aceite fue estudiada.

La aplicación de pre-tratamientos no presentó un efecto significativo sobre las fracciones de aceite estudiadas en el tiempo final del proceso ($\rho>0,05$), al igual que lo obtenido para el efecto de la temperatura sobre el contenido de aceite superficial ($\rho=0,1560$) y aceite absorbido ($\rho=0,1376$), sin embargo, el contenido de aceite estructural ($\rho=0,0088$) y aceite total ($\rho=0,0791$) fueron influenciados por el efecto de la temperatura. El menor contenido de aceite total absorbido se obtuvo cuando las rodajas son sometidas al pre-tratamientos control y temperatura de 180°C, así mismo ocurrió con el contenido de aceite superficial y aceite estructural. El menor contenido de aceite absorbido se obtuvo a la menor temperatura de estudio (120°C) y para el pre-tratamiento control.

SUMMARY

STUDY OF OIL DISTRIBUTION IN FRIED POTATO SLICES

The present work was supported by FONDECYT Project N° 1030411. In this research, potatoes chips produced under different conditions (frying temperatures and pre-treatments) were studied. The general objective of this research was to study in an integral way the effect of different processing and frying conditions over oil absorption and moisture loss in fried potatoes slices.

For experiments potatoes of Desireé watering ecotype from south of the country were used. From the central part of the tubers slices of 3,7 cm diameter and 3 mm of thickness were cut. Three different pre-treatments were tested: control, blanching in hot water, blanching in hot water and immersion in a saline solution. Control pre-treatments were raw potatoes slices washed in tap water at room temperature. Frying was accomplished at three temperatures: 120℃, 150℃ and 180℃ for each of the pre-.treatment used. Then potatoes slices were fried (for each pre-treatment and temperature tested) at regular intervals until getting potato chips with moisture contents of ~ 2%, subsequently the content of different fractions of oil absorbed (surface oil, penetrated oil and structural oil) were determined. Finally, surface microestructural observation of frying potato slices was carry out and surface morphology and location of frying potato slices of oil was viewed.

Pre-treatment application not show a significant effect over the oil fraction studied at the final time of the process ($\rho>0,05$), same results was obtain for temperature effect over surface oil ($\rho=0,1560$) and uptake oil ($\rho=0,1376$) content, however, structural oil ($\rho=0,0088$) and total oil ($\rho=0,0791$) content was significantly affect by temperature of frying. The smallest of total oil content was obtain in slices with control pre-treatment and fried at 180℃, similar results was founded in surface oil and structural oil content. For other hand, the smallest uptake oil content was obtain at the smallest temperature studied (120℃) and control pre-treatment.

I. INTRODUCCIÓN

La fritura en inmersión es uno de los procesos más antiguos de preparación de alimentos. Por décadas, los consumidores han preferidos los productos fritos en inmersión debido a la combinación única de textura y sabor que ellos poseen (Moreira y col., 1999).

Por muchos años los “snack” fueron considerados como alimentos basura ya que aportaban “calorías vacías”, altos niveles de grasa y sodio al organismo. El mundo presenta hoy una tendencia a revertir esa situación convirtiéndolos en portadores de una buena nutrición. Sin embargo, esa tendencia no ha cobrado fuerza en Chile donde los “snack” continúan siendo principalmente alimentos de entretención con bajo aporte nutritivo. Así las papas fritas contienen 35% de grasas y aproximadamente 160 mg/100g de sodio, proporcionando una cantidad significativa de calorías y muy pocas proteínas, minerales, vitaminas y fibras. En Chile un segmento importante de consumidores de “snack” es el compuesto por niños y adolescentes, entre los cuales se ha detectado que un 18,2% sufre exceso de peso y el 9,1% de obesidad (Hurtado, 2001). Así mismo, la disponibilidad y variedad de alimentos de consumo rápido (fast foods) aumenta tanto en países industrializados como en aquellos en vías de desarrollo (Aguilera, 1997).

El objetivo de la fritura consiste en sellar los alimentos en aceite caliente para que los sabores y jugo presentes en él sean retenidos en una corteza crujiente, es así como la mayoría de las características deseables de los productos fritos proviene de la formación de una estructura compuesta por una capa externa o corteza crocante, porosa y aceitosa y un interior húmedo y cocinado o core, microestructuras que fueron formadas durante el proceso de fritura (Bouchon, 2002).

La calidad de los productos fritos en inmersión no solo depende de las condiciones de fritura, sino también del tipo de aceite y alimento utilizado durante el proceso. El aceite juega un rol fundamental en la preparación de alimentos fritos ya que éste sirve como medio de transferencia de calor entre el alimento y la freidora.

En la fritura de alimentos por inmersión, la temperatura del aceite caliente, el tiempo de fritura y tipo de freidora son factores que afectan el proceso. La composición química del aceite de fritura, las constantes físicas y fisicoquímicas y la presencia de aditivos y contaminantes también influyen el proceso de fritura. Aditivos y contaminantes pueden tener un efecto marcado sobre la palatabilidad, digestibilidad y utilización metabólica de un alimento frito.

La absorción de aceite por parte del producto tiene una gran importancia nutricional y económica. Los productos fritos (papas fritas, papas chips, snack o bocadillos) son consumidos en gran cantidad contribuyendo de manera significativa a la ingesta de lípidos. Nutricionalmente el consumo de grasas es considerado un elemento clave en el sobrepeso, enfermedades coronarias y tal vez, ciertos tipos de cáncer, por lo tanto, se hace recomendable reducir su consumo; además, un contenido mayor de aceite aumenta los costos de producción (Aguilera, 1997).

1.1. La papa como materia prima

1.1.1. Antecedentes generales de la papa

La papa, *Solanum tuberosum,* es un cultivo originario de América. En Chile se encuentra en estado silvestre en la Cordillera de los Andes, Nahuelbuta, en Chiloé y otras áreas.

Pese a la gran diversidad de variedades existentes en el mundo, en Chile no se producen comercialmente más de diez. De hecho, tres de ellas, la Desirée, la Yagana y la Cardinal abarcan el 90% de la producción. Lejos la más difundida es la Desirée, con más del 50%. De origen holandés, esta papa fue introducida en el país por el INIA en 1968 y se cultiva para guarda desde la Región Metropolitana al sur. De piel roja y pulpa amarilla, se destina fundamentalmente para consumo fresco, aún cuando, debido a la escasa especificidad predominante en el país, también se la utiliza para chips o papas fritas artesanales de consumo inmediato (http://www.agroindustrias.org/1-08-01agropapachile.shtml).

La papa es una planta dicotiledónea, herbácea, anual, pero puede ser considerada como perenne potencial debido a su capacidad de reproducirse vegetativamente por medio de tubérculos. Esta planta está compuesta por una parte que crece sobre el suelo, en la que destacan tallos, hojas, flores y frutos. La otra que crece subterráneamente corresponde a papa-madre (tubérculo-semilla), estolones, tubérculos y raíces**.**

Morfológicamente el tubérculo es un tallo subterráneo, acortado engrosado y provisto de yemas u ojos en las axilas de sus hojas escamosas. En cada ojo, existen normalmente 3 yemas, aunque en ocasiones pueden ser más. Una yema es, en consecuencia, una rama lateral del tallo subterráneo con entrenudos no desarrollados y todo el tubérculo un sistema morfológico ramificado y no una simple rama.

Los ojos se concentran con mayor frecuencia hacia el extremo distal (corona o roseta), siendo a la vez más profundos en esta región. Las yemas de esta región normalmente se desarrollan primero. Cuando la yema apical es removida o muerta, otras yemas son estimuladas a desarrollar. Cada ojo es capaz de producir un infinito número de brotes, dependiendo del tamaño del tubérculo y de la reserva de hidratos de carbono. Una vez que ha nacido la planta, salen de las axilas de las hojas más carnosas, situadas en la porción subterránea del tallo aéreo, los estolones que se alargan con varios entrenudos y terminan en una hinchazón que es el futuro tubérculo.

En un corte transversal del tubérculo, se observa: la piel (epidermis y peridermis), corteza, anillo vascular y la médula (externa e interna). La médula interna es la parte más traslúcida y con un alto contenido de agua y con ramificaciones hacia los ojos. Al iniciarse la formación de un tubérculo, hay una desigual división celular entre la médula y la zona cortical del estolón a cuya consecuencia, el tejido vascular que pasa del estolón al tubérculo, se expandiría bruscamente en círculo, situándose por tanto, muy cerca de la cáscara. El crecimiento ulterior del tubérculo resultaría de una activa división celular en la zona localizada entre la corteza y la médula, zona divida por el anillo vascular en dos porciones desiguales. El tamaño y la forma de los tubérculos es sumamente variable, aunque la domesticación de la papa ha seguido la dirección del tubérculo cada vez mayor (Contreras, 2006).

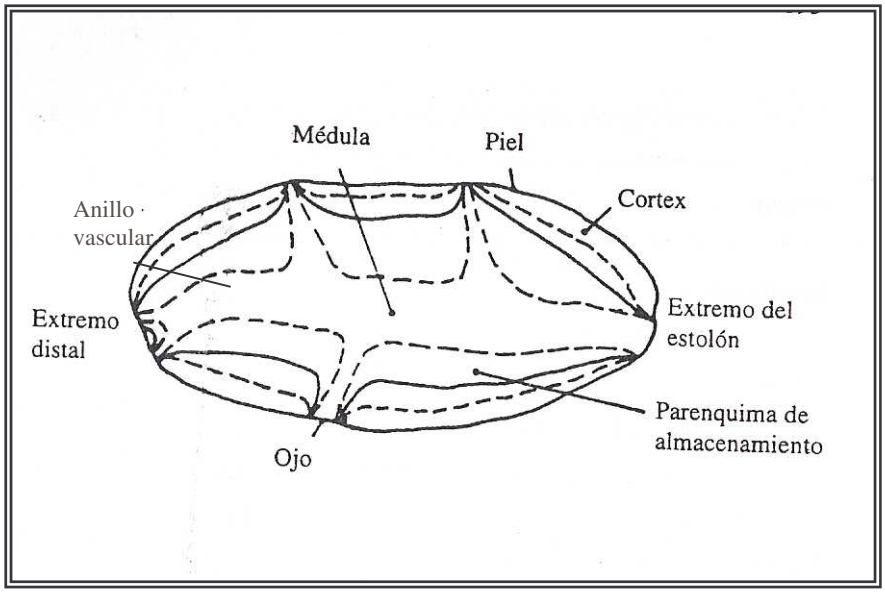

Fig. 1.1. Esquema morfológico del tubérculo de la papa (Aguilera, 1997).

La piel exterior consiste en una capa llamada peridermis de una profundidad de 10 células, éstas, son células muertas que no contienen almidón o proteínas y tienen paredes más gruesas que las células parenquimáticas. Debajo de la peridermis está la corteza que es una delgada capa de tejido parenquimático, donde las células normalmente contienen numerosos granos redondos y ovalados de almidón, estas células son las más grandes en el tubérculo con dimensiones superiores 146 x 189 µm. Sus paredes son delgadas a pesar de su tamaño o el contenido de almidón. El parénquima de almacenamiento vascular, alto en contenido de almidón descansa dentro de la cáscara de la corteza. El Xilema y floema se encuentran en pequeños filamentos, que en su mayoría forman estrechos y discontinuos anillos (anillo vascular), justo dentro de la frontera entre la corteza y el área vascular. Las células del parénquima de almacenamiento adyacente al tejido vascular contienen gránulos de almidón que generalmente son pequeños y redondos. Las células localizadas sólo tres células más allá contienen granos de almidón ovalados que son al menos dos veces más grandes y forman un pequeño núcleo central llamado médula. Estas células son más pequeñas y tienen menor contenido de almidón (Segnini, 2000).

El tubérculo es aproximadamente 2% de cáscara, 75 - 85% de parénquima vascular y 14 – 20% de médula y dentro de las principales características de este cultivo se destacan su importancia en la dieta del hombre y los múltiples usos a que se destina: consumo humano directo, alimento de ganado, industrias alimentarias (fabricación de puré deshidratado y papas fritas), de almidón y destilación (obtención de alcohol).

1.1.2. Composición química de la papa

En términos de su composición, la papa esta formada principalmente de agua (tabla 1.1). La composición química de la parte sólida remanente puede variar ampliamente dependiendo de factores como: variedad, madurez, diferencias ambientales, aplicación de químicos y condiciones ambientales.

Tabla 1.1: Composición química del tubérculo de papa.

Compuesto	**Contenido (%)**		**Contenido (mg/100g)**
Agua	75,77	Vitamina C	0 - 40
H. de carbono	19,83	Vitamina B1	100
Proteínas	1,56	Vitamina B2	30
Grasa	0,25	Calcio	8
Cenizas	1,23	Fósforo	56
Celulosa	1,34	Hierro	0,7
		Valor energético	80 Kcal/100 g

Fuente: Kalazich y col., 1996

En papas el almidón representa 65 a 89% del peso en base seca y es calóricamente el componente nutricional más importante. En papa cruda, el almidón se presenta como gránulos microscópicos con forma elipsoidal. La composición del almidón es de aproximadamente 21% de amilasa, 75% de amilopectina, 0,1% de lípidos, 0,1% de proteína y 0,08% de fósforo (Andersson, 1994).

En general, para productos fritos, se prefieren papas con un alto contenido de materia seca (gravedad específica >1080, contenido de almidón >14%) ya que resultan en productos con mejor textura, mayor rendimiento y menor absorción de

aceite. Además acumulan menos azúcares reductores durante el almacenaje (Núñez, 2001).

Papas que contengan menos de un 2 % de azúcares reductores, son requeridos en la fabricación de productos fritos, con el fin de minimizar el desarrollo de color pardo durante el procesamiento, producto de reacciones de pardeamiento no enzimático, como es el caso de la reacción de Maillard (Núñez, 2001).

La síntesis de almidón y su degradación a azúcares simples en la papa son actividades metabólicas importantes durante el almacenamiento post cosecha. La conversión de almidón a sacarosa y azúcares reductores es indeseable y ocurre en la mayoría de las variedades a temperaturas inferiores a 5°C (Fennema, 1996).

Las temperaturas más adecuadas de almacenamiento de papa deben fluctuar entre 5 y 8°C cuando se realizan almacenamientos por dos a cuatro meses y de 4 a 5°C cuando se almacena por más tiempo, temperaturas más altas provocan una rápida deshidratación y pérdida de peso del tubérculo; temperaturas muy bajas favorecen la formación de azúcares o endulzamiento de la papa, disminuyendo la calidad del producto, especialmente de la destinada al consumo industrial, porque además de afectar su sabor, origina un oscurecimiento indeseable en las frituras (INDAP, 2001).

1.2. El aceite y el proceso de fritura

1.2.1. El aceite como medio de fritura

El proceso de fritura usa grasas y aceites como medio de transferencia de calor al producto. Un buen alimento frito no se puede obtener si no se usa un aceite de buena calidad, sin embargo, casi todos los tipos de grasas y aceites pueden ser utilizados para la fritura, incluyendo aceites vegetales con y sin hidrogenar, grasas animales, mezclas de los anteriores y margarinas.

Los criterios utilizados para seleccionar los aceites o grasas según Aguilera (1997), son los siguientes:

- No debe contribuir con sabores extraños en el alimento.

- Debe proporcionar una larga vida de fritura, que haga económica la operación.
- Tener resistencia a humear en exceso durante uso continuado, a la rancidez y a la formación de “gomas” o polímeros que ensucien el equipo.
- Proporcionar a los productos una superficie café dorada, exenta de grasa libre y de excelente textura.

La mayoría de las propiedades de los aceites de fritura cambian con la temperatura, es así como después de un uso prolongado el aceite disminuye su capacidad calórica y aumenta su viscosidad debido a la formación de dímeros y polímeros. Generalmente, un aceite degradado tiene un color oscuro y el alimento presenta exceso de aceite absorbido, además de una superficie dura (Aguilera, 1997).

El uso, calidad y estabilidad de los aceites de fritura puede ser influenciado por factores como, humedad proveniente del alimento (causante de un aumento en la alteración oxidativa), calor (alta temperatura en el proceso de fritura, aumenta la velocidad de degradación del aceite), luz, oxígeno (los procesos que incorporan oxígeno aumentan el grado de degradación, por tanto se debe evitar la agitación del aceite durante la fritura) y contaminantes, entre éstos, metales que aumentan la tendencia a la oxidación e hidrólisis, lo que produce oscurecimiento del aceite y desprendimiento de olores desagradables. La presencia de sustancias alcalinas promueven la saponificación y con ello la aparición de espuma en el aceite (Hurtado, 2001).

1.2.2 El proceso de fritura

El proceso de fritura puede ser definido como un proceso de cocción y secado de alimentos, por su inmersión en un fluido comestible (grasa) a una temperatura mayor que la temperatura de ebullición del agua (Farkas, 1994). Las temperaturas de fritura están en el rango de 120°C a 200°C, pero las temperaturas más comunes se encuentran en el rango de 170°C a 190°C. (Bouchon, 2002).

La inmersión en aceite es un proceso complejo que incluye transferencia simultánea de calor y masa resultante en flujos en contracorriente de vapor de agua (burbujas) y aceite a la superficie de la pieza. La mayoría de las características deseables de los alimentos fritos son derivadas de la formación de una estructura compuesta por: una corteza externa crocante, porosa y aceitosa y un interior húmedo y cocinado, cuyas microestructuras se forman durante el proceso de fritura (Bouchon, 2002). La característica crocante de la corteza proviene probablemente de la condición vítrea del almidón a baja humedad (~ 2%) (Aguilera, 1997).

La corteza es el resultado de varias alteraciones que ocurren principalmente a nivel celular y subcelular que son localizadas en las capas externas del producto. Estos cambios químicos y físicos incluyen: daño físico cuando el producto es cortado y una superficie rugosa es formada con liberación de material intracelular, gelatinización del almidón, denaturación proteica, rompimiento de la adhesión celular, evaporación de agua y rápida deshidratación del tejido y finalmente absorción al interior (Bouchon, 2002; Moreira y col., 1999).

La deshidratación, altas temperaturas y absorción de aceite distinguen a la fritura de la cocción, la cual ocurre en un medio húmedo donde la temperatura no excede la temperatura de ebullición del agua. Durante el horneado, el coeficiente de transferencia de calor es mucho más lento que durante la fritura y aunque hay deshidratación de la superficie y formación de corteza, no existe absorción de aceite. En adición, las altas temperaturas alcanzadas permiten la inactivación enzimática, reducción del aire intracelular y destrucción de microorganismos, incluidos los patógenos (Aguilera, 1997).

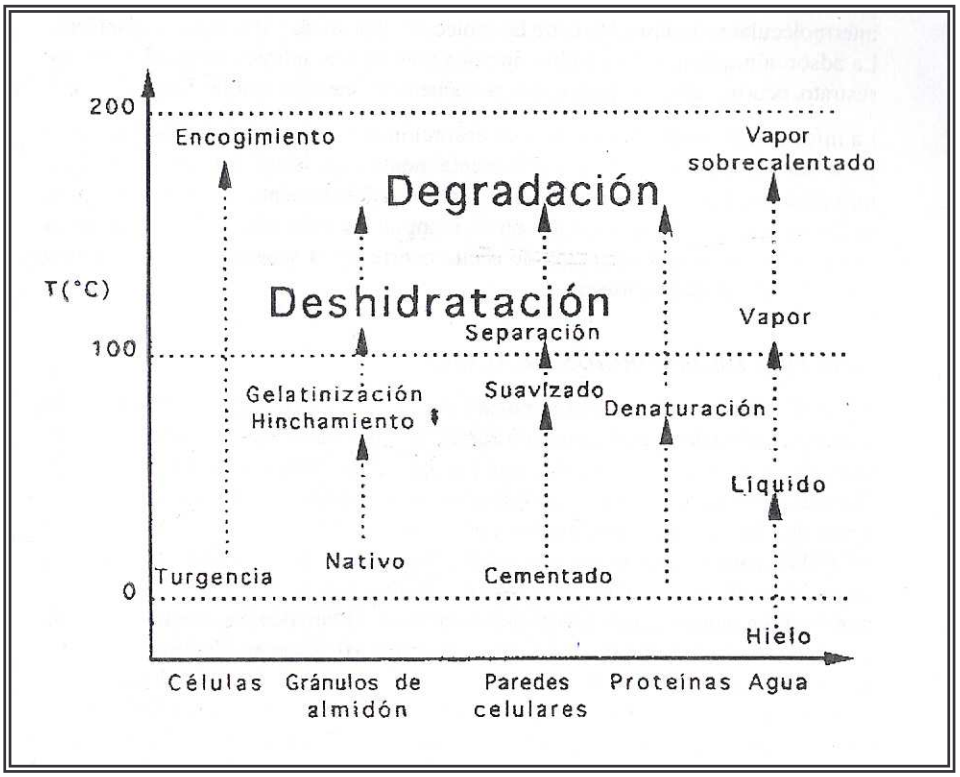

Fig. 1.2. Cambios por efecto de la temperatura que afectan la microestructura de células, organelos y componentes de la papa durante la fritura (Aguilera, 1997).

El comportamiento de secado de un alimento en la freidora depende de las características físicas del producto. Los alimentos son productos higroscópicos, capilares y porosos, en los cuales los poros son parcialmente llenados con agua y parcialmente con una mezcla de aire/vapor de agua. Durante el proceso de fritura la humedad se evapora de la superficie del producto y deja el producto, debido a la diferencia de presión de vapor entre al aceite de fritura y el alimento. La tasa a la cual un producto alimenticio o un batch de productos pierde humedad bajo diferentes condiciones de fritura y en distintos tipos de freidora, son importantes parámetros en el diseño de una freidora (Moreira y col., 1999).

1.2.3. Transferencia de calor y masa durante la fritura

La fritura en profundidad es un proceso térmico, en el cual la transferencia de calor y masa ocurren en forma simultánea. Un diagrama esquemático del proceso es mostrado en la Figura 1.3 donde es posible observar que el calor se transfiere por convección desde el aceite caliente a la superficie de la pieza, posteriormente, la transferencia de calor al interior del alimento ocurre por conducción. El agua que abandona el alimento genera un enfriamiento en el frente de evaporación (Aguilera, 1997). La transferencia de masa es caracterizada por la pérdida de agua desde el alimento como vapor de agua y el movimiento de aceite al interior del alimento (Bouchon, 2002).

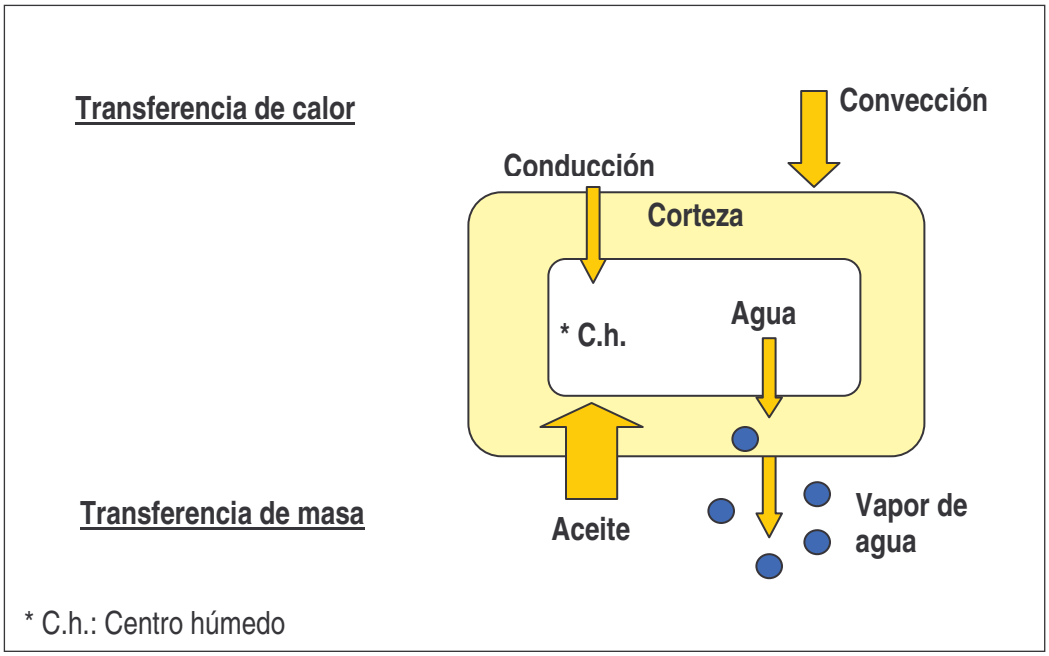

Fig. 1.3. Diagrama esquemático de la transferencia de calor y masa durante el proceso de fritura.

La velocidad de transferencia de calor hacia el alimento está influenciada por las propiedades térmicas del alimento, viscosidad del aceite y condiciones de agitación. La transferencia de masa se caracteriza por la pérdida de humedad y la ganancia en aceite, fenómenos que operan en contracorriente (Aguilera, 1997).

Cuando todo el líquido es evaporado de la región, el movimiento del frente se propaga hacia el interior, la temperatura comienza a aumentar, sobrepasando el punto de ebullición del líquido y acercándose a la temperatura del aceite. Sobre la base de observaciones visuales, análisis de perfiles de temperatura y datos de humedad, se sugiere que el proceso de fritura está compuesto de cuatro distintas etapas: 1) *Calentamiento inicial, dura* sólo unos pocos segundos y corresponde al periodo de tiempo en el cual la temperatura superficial alcanza el punto de ebullición de el líquido; la transferencia de calor es por convección natural y no ocurre vaporización del agua 2) *Evaporación superficial*, la cual se caracteriza por una lenta pérdida de agua, el comienzo de la formación de corteza y un régimen de convección forzada debido a altas turbulencias asociadas a los núcleos de ebullición; 3) *Fase de pérdida*, la cual es la más larga, en la que la humedad interna abandona el alimento, la temperatura del centro húmedo aumenta hasta el punto de ebullición, la capa de corteza aumenta en espesor y finalmente la transferencia de vapor hacia la superficie disminuye; 4) *Punto final del burbujeo*, en el cual ya no hay burbujeo notorio del medio de fritura pues la mayoría del agua del alimento se ha eliminado, durante esta etapa el alimento incrementa su color tostado (Bouchon, 2002).

1.2.4. Factores que afectan la absorción de aceite

- Temperatura del aceite: Estudios previos han determinado que no existe una correlación entre la temperatura y la absorción de aceite en rodajas de papa, Gamble y Rice (1987) no encontraron una correlación entre la temperatura del aceite y el contenido de aceite cuando las rodajas de papa fueron fritas, pero concluyeron que temperaturas bajas del aceite resultaron en bajo contenido de aceite en etapas tempranas del proceso de fritura, con mayores diferencias entre 145°C y 165°C que entre 165°C y 185°C. De forma similar, Moreira y col. (1997) determinaron mayores diferencias en la absorción de aceite entre 130°C y 160°C que entre 160°C y 190°C. Por otra parte, Nonaka y col. (1977) encontraron que el contenido de aceite incrementa con un aumento de la temperatura de fritura cuando las rodajas de papas son fritas.

- Tipo y calidad de aceite: La influencia del tipo de aceite y los residuos absorbidos por los productos fritos ha sido ampliamente documentada, sin embargo, no se ha encontrado ninguna relación entre el tipo de aceite y la absorción de éste. Sin embargo se ha demostrado que incrementos en la tensión interfacial inicial del aceite disminuyen la absorción de aceite (Pinthus y Saguy, 1995). Mientras que la degradación produce surfactantes que actúan como agentes humectantes, los cuales incrementan la absorción de aceite (Blumenthal, 1991).

- Algunos pre-tratamientos han demostrado disminuir la absorción de aceite durante la fritura, como por ejemplo, someter las rodajas de papa a secado previo a la fritura mediante microondas o aire caliente, así como también, post-tratamientos como el secado con aire caliente reducen la absorción de aceite.

- Un incremento en otros factores, como el contenido inicial de sólidos, grosor de las rodajas, fuerza de gel y tiempo de cocción tienen un efecto positivo sobre la absorción de aceite (Bouchon, 2002).

- Un descenso en la porosidad inicial reduce la absorción de aceite (Bouchon, 2002).

1.2.5. Mecanismos de absorción de aceite

Existen varios mecanismos propuestos para la absorción de aceite durante el proceso de fritura que intervienen en la incorporación de éste al alimento, los cuales se describen brevemente a continuación:

- Retención física: La mayor concentración de aceite tiende a encontrarse en la corteza externa, la retención tendría que ver con la formación de huecos o ampollas y quizá con el daño que se produce en las células externas durante el corte de las rodajas.

- Reemplazo del agua: Sugiere que luego del escape del agua en forma de vapor los sitios por los cuales salió el vapor se secan y pierden su hidrofobicidad,

entonces el aceite se adhiere a la superficie para posteriormente penetrar al interior por las áreas dañadas.

- Tensión interfacial: El tipo de superficie y el área superficial expuesta juegan un papel fundamental en la retención de aceite. Inmediatamente iniciado el proceso de fritura, el aceite es absorbido en la superficie del producto lo que indica que las tensiones interfaciales y la papa tienden a cero.

- Succión por vacío: postula que el aceite adherido es forzado a ingresar al interior del alimento al removerse éste de la freidora, producto del vacío generado por condensación del vapor.

- Penetración capilar: Este mecanismo se basa en la existencia de una matriz porosa en la cual existe penetración de aceite por capilaridad y que la fuerza impulsora es la diferencia de presión a través de la superficie.

- Formación de corteza y adsorción preferencial: la corteza tiene una mayor cantidad de polímeros oxidados que el aceite de fritura y se ha postulado que estos compuestos se retienen por adsorción física o que su presencia involucra la reacción de múltiples puentes de hidrógeno y enlaces covalentes (Pinthus y Saguy, 1995; Aguilera, 1997).

La información sobre mecanismos de absorción de aceite en productos fritos está poco sustentada y permanece fundamentalmente como hipótesis de trabajo. Lo más probable es que durante la fritura operen simultáneamente varios de ellos pero su importancia relativa cambie con el tiempo. En todo caso, para papas fritas, la mayor retención de aceite ocurre en la superficie y en huecos o bolsones dentro de la corteza (Aguilera, 1997).

1.2.6. Cinéticas de Absorción de Aceite

No se comprende claramente c*ómo* y *cuando* el aceite penetra al interior de la estructura. Sin embargo, se ha demostrado que la mayor parte del aceite es

localizado en la región superficial del producto frito (Bouchon, 2002; Aguilera y Gloria, 1997) y hay fuertes evidencias que indican que la mayor parte es absorbida durante el periodo de enfriamiento post-fritura. Se cree que durante la fritura el vigoroso escape de vapor de agua podría generar una barrera que previene la migración de aceite al interior de la estructura porosa y como consecuencia la absorción de aceite podría estar limitada durante la mayoría del periodo de inmersión. Como resultado, el aceite absorbido podría ser esencialmente definido como un fenómeno de tensión superficial resultado de la competencia entre el flujo y succión al interior de la corteza porosa una vez que las rodajas son removidas del aceite de fritura y comienzan a enfriarse (Bouchon, 2002).

La mayor cantidad de aceite penetra en la estructura durante el periodo de enfriamiento y no durante la fritura. Resultando que un 20% del aceite total es absorbido durante el periodo de inmersión y del aceite remanente un 64% es absorbido durante el enfriamiento y el 36% es localizado en la superficie de las rodajas de papa (Moreira y col., 1997).

Consecuentemente tres fracciones de aceite pueden ser identificadas, como resultado de los diferentes mecanismos de absorción, éstas se encuentran representadas esquemáticamente en la figura 1.4, según lo definido por Bouchon (2002):

a) Aceite Estructural (AE), el cual representa la cantidad de aceite absorbido durante la fritura.
b) Aceite absorbido (AA), que representa la cantidad de aceite succionado al interior del alimento durante el enfriamiento posterior a la remoción del alimento de la freidora.
c) Aceite superficial (AS), aquel que permanece sobre la superficie.

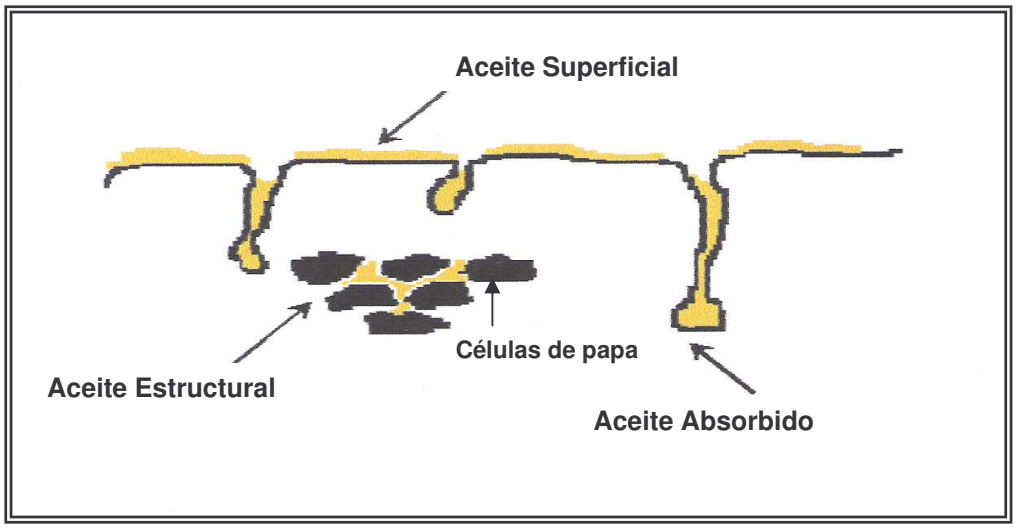

Fig. 1.4. Diagrama de las tres fracciones de aceite absorbidas durante el proceso de fritura.

1.3. Microestructura en el proceso de fritura

En un alimento frito, los mayores cambios microestructurales se producen a nivel de la corteza, donde se observa la deshidratación, encogimiento de células y gránulos de almidón gelatinizados, formación de ampollas y acumulación de aceite. La lámina media de la pared celular, compuesta principalmente por sustancias pécticas, se suaviza y debilita por efecto del calor. El agua abandona las células al estado de vapor sobrecalentado, aprovechando la separación entre éstas causada por la presión de vapor. Las proteínas, aunque en pequeña concentración, sufren denaturación y posiblemente sufran degradación (Aguilera, 1997).

La microscopía de luz ha sido ampliamente usada para examinar cambios microestructurales en alimentos fritos por su simplicidad y disponibilidad de técnicas específicas para identificar distintos componentes.

Los primeros trabajos sobre cambios microestructurales durante la fritura de papas fueron realizados Reeve y Neal en el año 1960. Aunque ciertas técnicas de preparación sufrían de ciertos defectos ellos reconocieron que el daño celular era mínimo y que las células permanecían redondeadas y con sus paredes extendidas

por la presión de los gránulos de almidón gelatinizados en el interior. La fritura produce “ampollas” superficiales por acumulación de vapor entre grupos de células intactas. En aquella época se postuló que el mecanismo de retención de aceite en la corteza sería su ubicación en espacios entre células separadas por liberación del vapor. Así se sugirió además, que en papas de corte “americano”, en la superficie no producían ampollas, debido a que al estar las regiones centrales más cerca de la superficie se facilitaba la salida del vapor. Las células en el interior de trozos de papas fritas permanecen con una apariencia muy similar a la de papas cocidas y se encuentran agrupadas, rellenas con almidón gelatinizado (Aguilera, 1997).

Existen dos distintas microestructuras en chips comerciales fritos:

i. Una delgada lámina externa de aproximadamente 250 µm formada por restos de pared celular de células rotas o dañadas por el corte.
ii. Una capa intermedia formada por células encogidas intactas, las cuales se extienden hasta el frente de evaporación (Aguilera y Gloria, 1997).

La Microscopía de Barrido Confocal Láser (CLSM) es una nueva metodología para el estudio de la localización de aceite directamente en chips de papas con un mínimo de intrusión, realizando la fritura en aceite teñido con un fluorocromo estable al calentamiento (Nile Red) y observaciones posteriores de la corteza bajo CLSM, sin preparación previa de las muestras. Ésta técnica proporciona un seccionamiento óptico por medio de un rayo láser, evitando así cualquier daño físico en la muestra.

1.3.1. Microscopía de Barrido Superficial (SEM)

La microscopía Electrónica de Barrido (SEM) es una técnica que permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características. Con él se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de los distintos materiales con los que trabajan los investigadores de la comunidad científica y las empresas privadas, además, del procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas. Las principales

utilidades del SEM son la alta resolución (~100 Å), la gran profundidad de campo que le da apariencia tridimensional a las imágenes y la sencilla preparación de las muestras. El microscopio electrónico de barrido puede estar equipado con diversos detectores, entre los que se pueden mencionar: un detector de electrones secundarios para obtener imágenes de alta resolución SEI (Secundary Electron Image), un detector de electrones retrodispersados que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de la superficie BEI (Backscattered Electron Image), y un detector de energía dispersiva EDS (Energy Dispersive Spectrometer) permite colectar los Rayos X generados por la muestra y realizar diversos análisis e imágenes de distribución de elementos en superficies pulidas (Grágeda y Montesinos, 2006).

1.3.2. Microscopía Confocal de Barrido Láser (CLSM)

La Microscopía Confocal de Barrido Láser es una valiosa herramienta para la obtención de imágenes de alta resolución, reconstrucciones 3D de una amplia variedad de especimenes biológicos marcados fluorescentemente y estudio de muestras reflectantes donde una reconstrucción de superficie es requerida. Una de las principales ventajas de CLSM está ligada a que es un método de naturaleza no invasiva, la preparación de la muestra es simple, libre de artefactos especiales y la mayoría de las características originales de la muestra son preservadas.

Generalmente, cuando la luz convencional de microscopio es utilizada, se requiere llevar acabo una extensa preparación de la muestra antes de comenzar la observación, lo que puede distorsionar la información original. Esto incluye entre otras, el seccionamiento de porciones extremadamente delgadas, lo cual es principalmente porque un especímen grueso resulta en una imagen borrosa, donde no solo la luz del plano focal es colectada sino que reflejada por los planos bajos y sobre el plano de interés. En contraste, la CLSM solo colecta la información reflejada por el plano focal. En el modo de fluorescencia, el láser puede ser usado para excitar a un colorante fluorescente particular (fluorocromo), el cual puede ser usado para ubicar especies químicas asociadas con él. Además, diferentes compuestos pueden ser identificados en la muestra simultáneamente, por detección de fluorescencias

específicas de distintas partes asociadas a ellas. La selección del fluorocromo adecuado dependerá del nivel de especificidad para el componente que desea ser identificado, el ancho de banda adecuado y la presencia de fondos fluorescentes (http://www.fisio.buap. mx/online/confocal/-confocal.htm).

Este nuevo tipo de microscopio se basa en eliminar el ruido que, en una imagen de microscopía óptica normal, producen las regiones que se encuentran fuera del plano de foco. Para esto, se ha optado por pasar la luz que incide sobre la muestra por un pequeño agujero o ranura y enfocarla en el plano de la imagen de un objetivo de gran apertura numérica. De esta manera, la luz que es reflejada por el punto que se encuentra en el plano focal del objetivo, regresa al mismo y es reenfocada y transmitida a su vez por un pequeño agujero o ranura sin ninguna pérdida. En cambio, la luz dispersada o emitida por los puntos que se encuentran fuera del plano de la imagen es atenuada o bloqueada completamente. De esta manera, se obtiene una imagen de alto contraste y definición de un punto en el plano focal, sin que haya una contribución significativa de las regiones que se encuentran fuera de foco, debido a que las aperturas tanto de la iluminación como del retorno de la imagen tienen un foco común.

En la Figura 1.5 se muestra un esquema de un tipo particular de microscopio confocal, en el cual, la fuente de luz que se utiliza es un rayo láser. El haz de luz se hace pasar por una ranura e incidir en un espejo dicroico (que refleja totalmente la luz que incide con un ángulo de cerca de 45 grados), para posteriormente enfocarlo sobre la muestra usando el propio objetivo del microscopio. La luz emitida por la muestra es colectada por el mismo objetivo y, pasando a través del espejo dicroico es enfocada en una ranura detectora. La luz que penetra a menor o mayor profundidad en la muestra (planos fuera de foco), incide por delante o por detrás de la ranura detectora. Debido a que la cantidad de luz que incide sobre la muestra es sumamente pequeña, es necesario usar fuentes de iluminación muy poderosas como es el rayo láser. Toda la información recolectada es transformada en señales eléctricas por un fotomultiplicador, el cual es finalmente mostrado en el monitor del computador.

El láser pasa directamente a través de una sección interior del especímen (a una profundidad z) y utilizando sistema de escáner, la información del plano x-y correspondiente a la profundidad escogida es colectada (http://www.fisio.buap.mx/online/confocal/-confocal.htm).

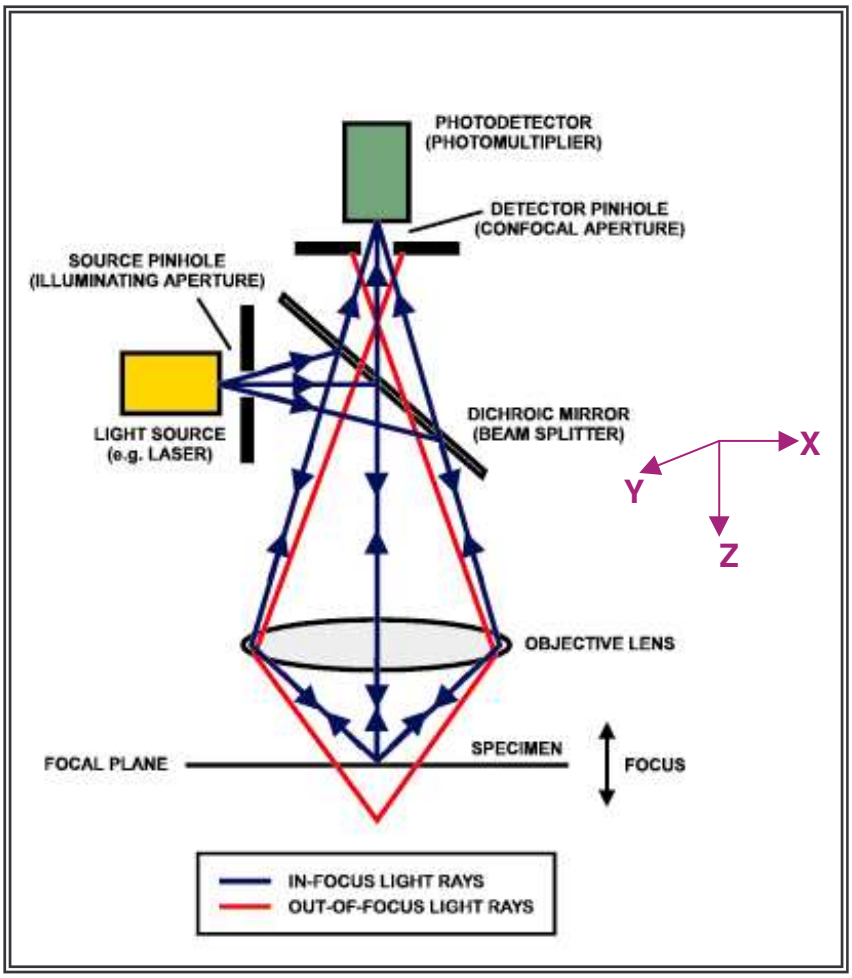

Fig. 1.5. Diagrama esquemático del principio de funcionamiento de CLSM. (Vodovotz y col., 1996).

Mas allá de tener una naturaleza no invasiva, el CLMS ofrece la posibilidad de reproducir estructuras tridimensionales. Esto es llevado a cabo por la grabación de una serie de secciones ópticas en la dirección z, las cuales son entonces reconstruidas en una imagen 3D y la imagen obtenida puede ser manipulada de

varias formas usando un software computacional, las cuales incluyen reconstrucciones 3D, animación 3D, rotación de imagen extensión del foco de proyección y seccionamiento ortogonal entre otras.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar las cinéticas de absorción de aceite en sus distintas fracciones en rodajas de papa, sometidas a distintas condiciones de pre-tratamiento y temperatura de fritura, con el fin de conocer la influencia de los parámetros en estudio sobre la absorción de aceite y establecer las condiciones de trabajo óptimas para la minimización de absorción de aceite en rodajas de papa fritas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer las cinéticas de pérdida de humedad, contenido de las distintas fracciones de aceite en rodajas de papa para las temperaturas de fritura y condiciones de procesamiento de la materia prima (pre-tratamientos empleados).

- Establecer la relación existente entre la absorción de las distintas fracciones de aceite y la humedad de los chips para las diferentes temperaturas de fritura y pre-tratamientos empleados.

- Determinar la localización del aceite en la superficie de las rodajas de papa fritas, mediante observaciones microscópicas.

1.5. Hipótesis

La absorción de aceite corresponde principalmente a un fenómeno superficial, que se compone de un equilibrio entre adhesión y drenaje de aceite a través de la superficie del alimento. Como consecuencia de ello, una pequeña cantidad de aceite podría penetrar al interior de la microestructura mientras las rodajas de papa están inmersas en el aceite y mientras que la mayor cantidad de éste ingresa a la microestructura durante el enfriamiento (cuando las rodajas son removidas de la freidora), sólo una mínima porción permanece en la superficie del producto.

II. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Selección de materias primas

2.1.1. Papas

La variedad de papas escogidas para realización de esta investigación fue la Desireé ecotipo secano, correspondiente a una variedad de papas ampliamente consumida en el país. Los tubérculos que fueron seleccionados de cultivos comerciales del año 2005, provenientes de la X Región del país (Puerto Octay), los cuales presentaban una composición química que es detallada en la tabla que se muestra a continuación. Y almacenadas en una cámara frigorífica a 8°C durante el periodo de desarrollo de pruebas experimentales.

Compuesto	rango			promedio		
Humedad	76,64	-	77,55	77,23	±	0,46
Proteínas	2,68	-	3,48	2,73	±	0,36
Lípidos	0,24	-	0,35	0,30	±	0,05
Cenizas	0,86	-	1,20	0,97	±	0,18
H. de C.	18,56	-	19,16	18,77	±	0,30
* Azúcares reductores	1,13	-	1,15	1,14	±	0,009

* El contenido de azúcares reductores permaneció relativamente constante durante el almacenamiento.

2.1.2. Aceite

El tipo de aceite escogido para llevar a cabo los experimentos se seleccionó en base al tipo de aceite utilizado en investigaciones anteriores y con el fin de comparar la información obtenida. Éste fue aceite Chef 100% Vegetal (Coprona S.A.) compuesto por aceite de soya (20%) y aceite de maravilla (80%), ácido cítrico y dimetilpolixiloxano y fue almacenado a 25°C.

2.2. Preparación de muestras y procedimiento experimental

2.2.1. Obtención de rodajas de papas

Para cada experimento se escogieron papas de tamaño medio (80 mm – 120 mm de largo). Los extremos de cada tubérculo fueron cortados con un cuchillo y con

una rebanadora eléctrica (G.S. Blakeslee, modelo 612 A, Chicago, USA) para obtener rodajas de papas de 3 mm de espesor y posteriormente de cada rebanada de papa se obtuvo de la región parenquimática, mediante la utilización de un sacabocados, una rodaja de 3,7 cm de diámetro. Las rodajas fueron lavadas con agua potable para la remoción del almidón residual de la superficie. El exceso superficial de agua se removió por agitación y disposición de las rodajas sobre papel absorbente. Finalmente las rodajas fueron mantenidas entre 2 hojas de papel absorbente humedecido para prevenir el secado de éstas.

2.2.2. Pre-tratamientos

2.2.2.1. Pretratamiento 1: Control

Corresponde a rodajas de papa cruda, lavadas con agua potable y mantenidas a temperatura ambiente entre hojas de papel absorbente para evitar el deshidratado excesivo de éstas.

2.2.2.2. Pre-tratamiento 2: Escaldado

Las rodajas de papas fueron sumergidas en agua a temperatura constante de 85°C durante 3,5 min con agitación de 200 rpm en una placa calefactora con agitador magnético (Marca Velp, modelo Arex, Italia) y con una relación másica papa:agua de 1:4 aproximadamente. Luego de transcurrido el tiempo de escaldado, las rodajas de papas fueron retiradas del agua, escurridas, enfriadas con agua potable para evitar una sobrecocción y mantenidas sobre papel absorbente en espera de ser sometidas al proceso de fritura (Figueroa y Hernández, 2004).

2.2.2.3. Pre-tratamiento 3: Escaldado e inmersión en una solución de NaCl

Las rodajas de papas ya sometidas al proceso de escaldado previamente mencionado fueron impregnadas con una solución de cloruro de sodio al 2% p/v (preparada a partir de NaCl de grado alimenticio) para lo cual se dejaron inmersas en dicha solución durante 5 min a 25°C.

La relación en masa utilizada de papa:agua fue de 1:4 aproximadamente. Posteriormente fueron retiradas de la solución, escurridas y mantenidas sobre papel

absorbente en espera de ser sometidas al proceso de fritura, y con el fin de eliminar el exceso de agua superficial (Figueroa y Hernández, 2004).

2.2.3. Preparación del aceite teñido

Un aceite teñido con indicador fue preparado por disolución de 1 g de Rojo Sudan B (índice de color 26100, Sigma Chemical, Santiago, Chile) por litro de aceite vegetal. Rojo Sudan B es un marcador soluble en grasas y resistente al calor, lo cual fue demostrado por tener idéntico comportamiento de penetración que el aceite de fritura en productos fritos (Bouchon y col., 2002). La solución fue agitada sobre una placa calefactora a 60°C por 4 h hasta que el colorante fuera completamente disuelto y posteriormente se dejó enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente.

2.2.4. Fritura

La fritura fue llevada a cabo en una freidora eléctrica (RIVAL, modelo CZF575, China) de capacidad de 3 l, en la cual la temperatura fue mantenida en ± 1°C de la temperatura fijada por medio de un sistema controlador de temperatura (Marca WATLOW, serie SD, USA). El gradiente de temperatura en el aceite fue minimizado por medio de un agitador de velocidad variable (marca POWERSTAT, modelo 3PN216B), dispuesto en un extremo de la freidora. La freidora fue llenada con 2,5 l de aceite vegetal el cual fue calentado previamente a la temperatura de estudio (Bouchon, 2002). El proceso de fritura se llevó a cabo a tres temperaturas 120, 150 y 180°C, para los tres pre-tratamientos determinados y por el tiempo correspondiente a cada uno de ellos.

El proceso de fritura fue realizado en 4 intervalos regulares del tiempo total de fritura, considerando como punto final del proceso, un 2% aproximado de humedad en las rodajas de papa frita, expresado en base húmeda.

Se frieron 10 rodajas para cada tiempo de fritura, los cuales fueron distribuidos al interior de una doble rejilla de acero inoxidable (que aseguró que estos permanecieran en posición horizontal) y sumergidos en el aceite de fritura durante el proceso; Veinte segundos antes del fin de cada experimento 0,17 l de una solución

de aceite teñido con el indicador fue agregada a la freidora en un intervalo de tiempo de 10 segundos. La solución de aceite teñido fue acondicionada previamente a la temperatura de estudio en una placa calefactora con agitador magnético (Marca Velp, modelo Arex, Italia). La turbulencia generada por el agitador aseguró una mezcla instantánea de los dos aceites.

Las muestras fueron removidas de la freidora y posteriormente dejadas drenar por 10 minutos con el fin de que el exceso de aceite fuera removido. Finalmente, los grupos de rodajas fritas fueron pesados con el fin de registrar la masa final utilizando una balanza analítica (marca OHAUS, modelo GA110, USA). Luego de cada experimento, el aceite de fritura teñido, fue almacenado en bidones para posteriormente ser desechado.

Un diagrama esquemático del proceso de fritura puede ser observado a continuación en la figura 2.1, así como en la figura 2.2, se puede observar un diagrama del proceso de extracción de aceite y determinación de las distintas fracciones de éste.

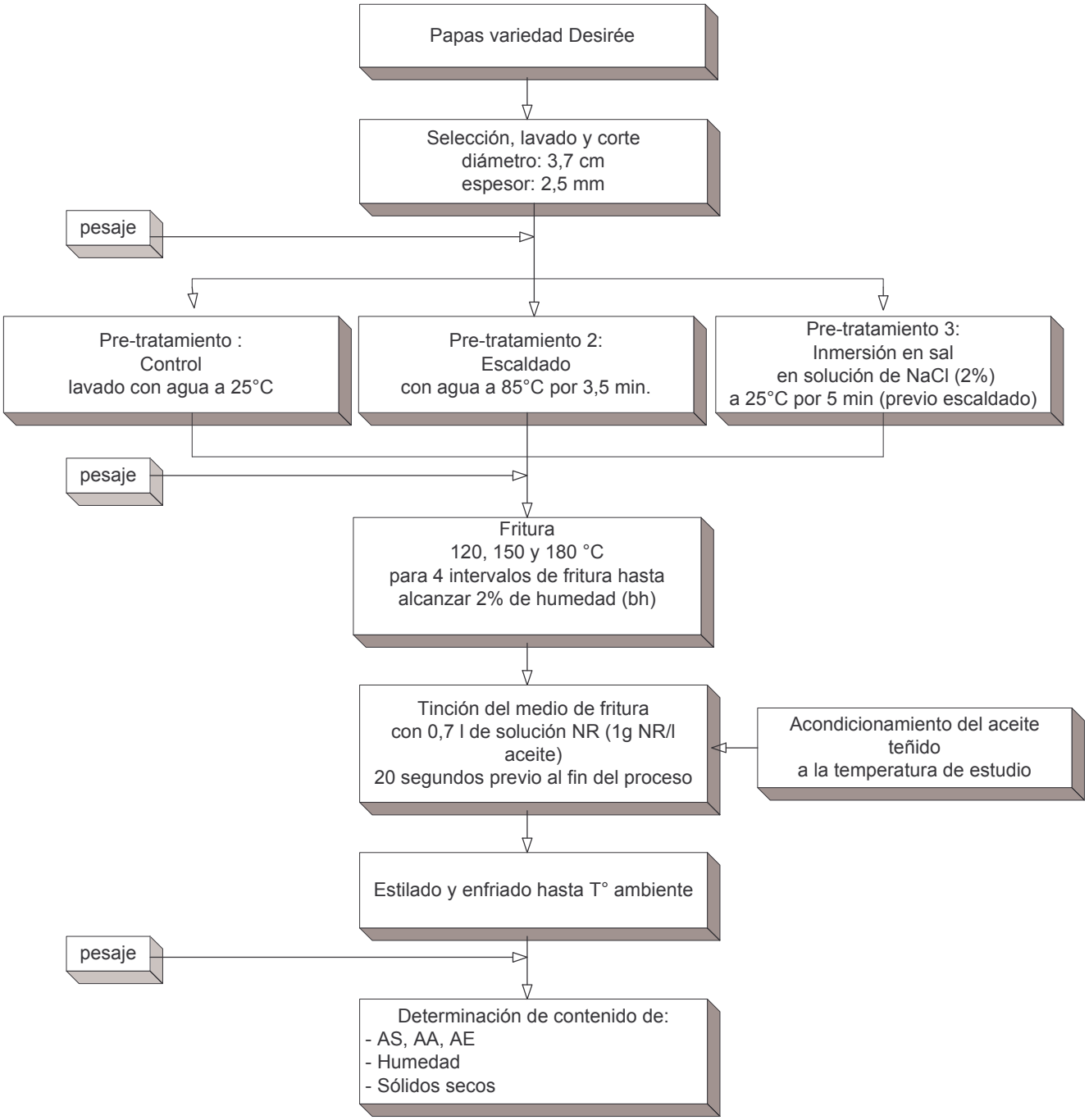

Figura 2.1. Diagrama de bloques del proceso de fritura.

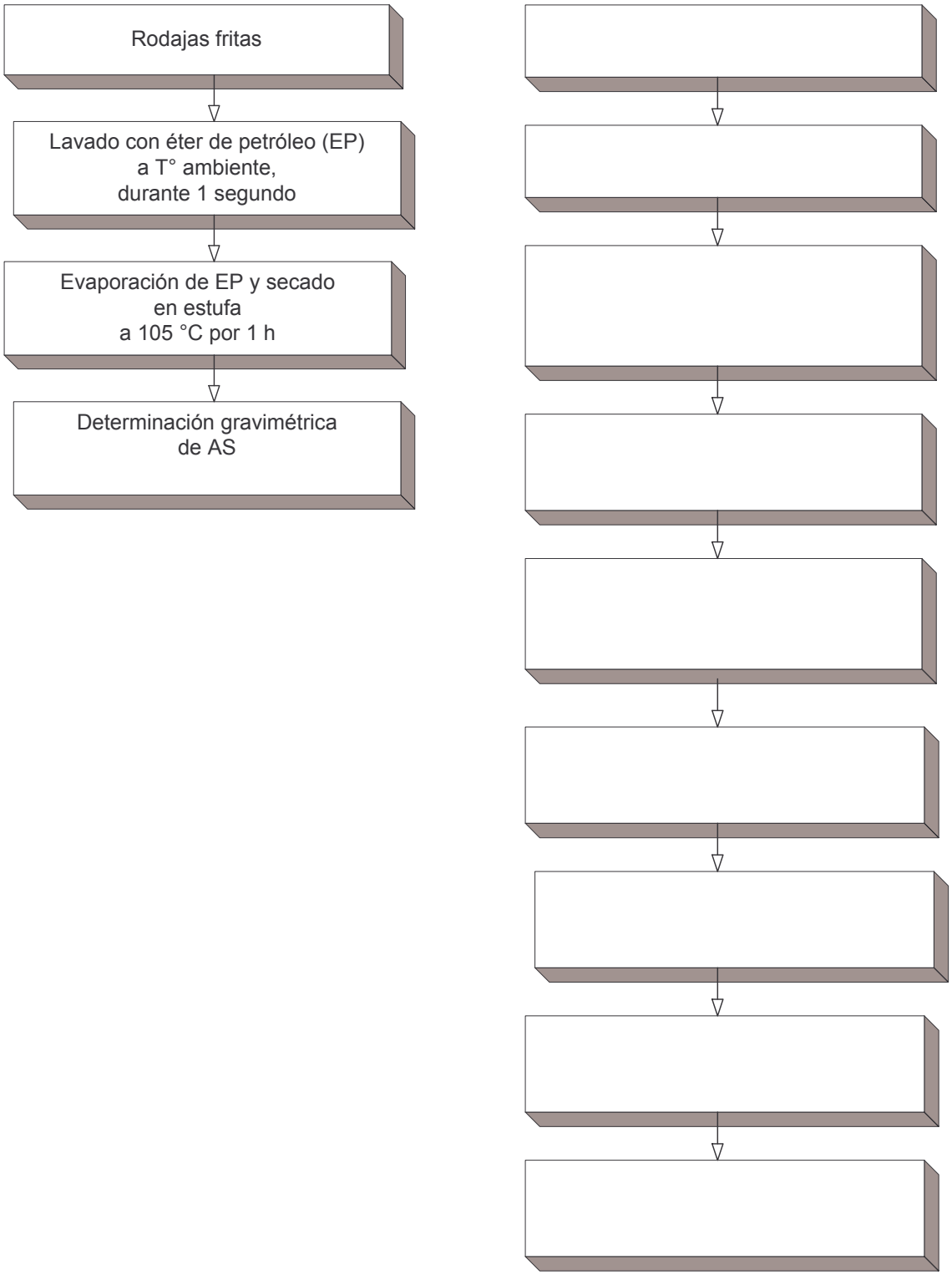

Figura 2.2. Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite

2.3. Métodos de análisis

Todos los análisis fueron realizados por duplicado. Sólo con la excepción en que se indique lo contrario.

2.3.1. Contenido de humedad

Se utilizó el método de secado en estufa descrito por la AOAC (1995). Se tomaron muestras de papa, las que fueron cuidadosamente picadas, con el fin de obtener un pool homogéneo de muestra y posteriormente pesadas (aproximadamente 1g) en balanza analítica (marca OHAUS, modelo GA110, USA) y secadas en estufa a presión de vacío (marca SHEL LAB, modelo 1410-2E, USA) a 500 mmHg durante 12 horas hasta alcanzar peso constante.

2.3.2. Contenido de azúcares reductores

Se determinó el contenido de azúcares reductores de las papas utilizadas para las corridas experimentales al inicio y término de los experimentos, con el fin de determinar si éstos se encontraban dentro del rango aceptado, utilizando el método gravimétrico de Munson y Walker, según la metodología descrita por la AOAC, (1995).

2.3.3. Análisis proximal

Se realizó un análisis proximal de papas utilizadas para las corridas experimentales, considerando el contenido de humedad, proteínas, lípidos, cenizas e hidratos de carbono, según la metodología descrita por la AOAC, (1995).

Los análisis fueron realizados por triplicado, en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile.

2.3.4. Curva de calibración para determinación concentración de rojo Sudan B en aceite vegetal

Se construyó una curva de calibración para la determinación de la concentración de rojo sudan en aceite vegetal, que permitiera mediante interpolación determinar el contenido de AA en las rodajas de papa fritas y para ello, soluciones de distintas

concentraciones de rojo sudan B fueron preparadas por agitación a 30°C durante 24 h, hasta que el indicador estuviera totalmente disuelto. Posteriormente cada solución fue diluida 9 veces con éter de petróleo (EP) (marca J. T. Baker, USA) y la absorbancia fue medida a 509,6 nm (máximo de absorbancia) por medio de un espectrofotómetro (marca HACH, modelo DR/3000, USA) a temperatura ambiente. Como resultado se obtuvo un gráfico de concentración de indicador en el aceite y absorbancia en el rango de concentración de interés (Anexo A).

2.3.5. Determinación de aceite superficial (AS)

El aceite superficial es definido como aquella cantidad de aceite que es fácilmente removible y que permanece sobre la superficie del producto. Un vaso limpio de 250 ml fue llenado 150 ml de éter de petróleo. El aceite superficial fue determinado en cada grupo por lavado de cada rodaja de papa frita durante un segundo en el solvente a temperatura ambiente. La solución resultante fue trasferida a un matraz de fondo plano el cual fue previamente secado y pesado. El solvente fue removido de los matraces mediante evaporación en estufa con flujo de aire convectivo (marca Memmert, ULM-500, Alemania). Los matraces que contenían el aceite extraído fueron entonces secados hasta peso constante por calentamiento en estufa con flujo de aire conectivo a 105 °C y el aceite superficial determinado por diferencia de peso.

2.3.6. Determinación de aceite absorbido (AA) y aceite estructural (AE)

El contenido de aceite de las papas fritas fue determinado por medio de extracción con solvente usando la técnica de Soxhlet, según la metodología descrita por la AOAC, (1995). Luego de la extracción del AS, las rodajas de papa fueron finamente cortadas y secadas a 50°C por 12 h en estufa a vacío (marca SHEL LAB, modelo 1410-2E, USA) a 500 mmHg. Posteriormente, los sólidos secos fueron pesados, molidos y transferidos en un cartucho de extracción de vidrio previamente pesado. Un capacho de metal limpio y seco fue llenado con 50 ml de éter de petróleo. La extracción fue llevada a cabo por 2 horas usando un equipo de extracción semiautomático Soxtec System (marca Tecator, modelo HT6, Suecia; representado en la figura 2.3), el solvente remanente removido mediante secado en estufa con flujo de aire convectivo a 105°C hasta peso constante (1 hora) y el contenido de

aceite extraído determinado por diferencia de peso. Para el análisis, el aceite extraído fue diluido 9 veces con éter de petróleo y la absorvancia medida a 509,6 nm. Consecuentemente, la cantidad de aceite teñido fue calculado según la ecuación 1; ésta fracción corresponde al aceite absorbido durante el periodo final de la fritura y penetrado al interior de la estructura del producto luego del enfriamiento y se denominó AA.

$$AA\ (g) = \frac{\text{aceite extraído por soxhlet (g)} * \text{Con. de colorante en aceite extraído (gr} * l^{-1})}{\text{Con. de indicador en la freidora (gr} * l^{-1})} \quad (1)$$

Finalmente el contenido de aceite no teñido (AE) fue calculado por diferencia de peso según la ecuación 2.

$$AE\ (g) = \text{aceite extraído por soxhlet (g)} - AA\ (g) \quad (2)$$

Fig. 2.3. Equipo de extracción de aceite Soxtec System HT6.

2.3.7. Consideraciones experimentales

Para obtener un volumen medible de aceite por análisis, se utilizaron 10 rodajas de papa frita. El contenido de aceite fue calculado en base seca, este criterio fue utilizado porque si se asume que el contenido de sólidos permanece constante durante los experimentos, se proporciona una misma base de comparación. El contenido de aceite de la papa antes de la fritura fue despreciable (0,3%). El contenido de humedad, sólido seco y aceite de las rodajas de papa fue utilizado en los cálculos y fueron medidos luego del proceso de fritura. El peso total de la muestra fue registrado antes de la fritura y a partir de éste, el contenido de humedad fue calculado como la diferencia entre peso total y de sólidos secos.

2.3.8. Análisis estadístico de datos

Se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos (contenido de AS, AA, AE y AT a través del tiempo para los distintos pre-tratamientos y temperaturas estudiadas) usando el método computacional SAS versión 9.0. Los parámetros de los modelos empíricos fueron determinados por minimización de la suma de cuadrados entre la curva ajustada y los datos experimentales. Los posibles ajustes considerados fueron: lineal, logarítmico y exponencial. El ajuste fue obtenido considerando el cumplimiento de los siguientes supuestos estadísticos: la variable dependiente fue presentada en valores reales, independencia de las observaciones, distribución normal de la variable dependiente y homocedasticidad.

Un modelo lineal fue encontrado para minimizar la suma de los cuadrados, por lo cual fue usado como modelo de ajuste de base empírico para todas las fracciones de aceite en estudio. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza destinado a conocer cual era el efecto que tenían las variables consideradas como independientes sobre cada una de las variables dependientes. Las diferencias significativas se consideraron a un nivel de 5% de significación ($\rho<0,05$). Los resultados son presentados en el Anexo B del presente trabajo.

Si bien, en algunos casos, el efecto de las interacciones entre los factores en estudio fue significativo, éste no fue considerado debido a que por tratarse de un

experimento en el cual no se obtuvo un número estadísticamente significativo de réplicas, considerar las interacciones podría inducir a estimaciones sesgadas.

De forma similar se analizó estadísticamente el contenido de AS, AA, AE y AT para tiempos finales del proceso de fritura. Las diferencias significativas se consideraron a un nivel de 5% de significación ($\rho<0,05$) y el efecto de las interacciones entre los factores no fue considerado. Los resultados son presentados en el Anexo C del presente trabajo.

2.4. Observaciones microscópicas

2.4.1. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Se estudió la topografía superficial de rodajas de papa, fritas a las temperaturas y pre-tratamientos establecidos, para el correspondiente tiempo final de fritura, en un microscopio electrónico de barrido utilizando una intensidad de haz de electrones de 10 KV, ángulo de giro de 10°. Se obtuvo imágenes en un punto representativo de la muestra con amplificación de 35x y zoom de un punto de interés dentro de la zona analizada en 350x mediante un microscopio (marca Jeol, modelo JSM – S410). Manteniendo las mismas condiciones descritas anteriormente, fueron observadas adicionalmente rodajas de papa fritas y sometidas a un lavado superficial con éter de petróleo durante 1 hora.

Previa a la realización de las observaciones las muestras fueron sometidas a un baño superficial por aspersión usando una aleación oro-paladio a presión de vacío de 80 millitor durante 4 min (Sputtering System Hummer 6.2) con el fin de otorgarles una superficie conductora y así poder ser observadas.

2.4.2. Microscopía Confocal de Barrido Láser (CLSM)

Se estudio la localización del aceite en rodajas de papa fritas en el modo de fluorescencia de un microscopio CLSM (marca Carl Zeiss, modelo Axiovert 135 M, Alemania), utilizando un láser de excitación de λ=488 nm y captación de fluorescencia de λ=515 nm. Así mismo, se estudió la topografía superficial rodajas de papa fritas por medio del equipo mencionado, pero esta vez utilizándolo en el modo de reflexión.

El procedimiento mencionado anteriormente fue utilizado también para el análisis de muestras sometidas a un lavado superficial con éter de petróleo durante 1 hora.

Con el fin de obtener rodajas de papa fritas aptas para ser observadas bajo el modo de fluorescencia, éstas fueron fritas a las temperaturas y pre-tratamientos establecidos, al correspondiente tiempo final de fritura en aceite teñido con el fluorocromo Nile Red (NR) (índice de Color 3013, marca Sigma Chemical, USA), en una concentración de 0,4g/l de aceite.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se analizan y discuten los principales resultados obtenidos del estudio de rodajas de papa sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a diferentes temperaturas.

3.1. Proceso de fritura

Este trabajo considera el efecto que poseen los pre-tratamientos y la temperatura de fritura sobre la pérdida de agua, ganancia de aceite y la distribución de las distintas fracciones de aceite definidas. Adicionalmente se obtuvieron, fotografías microscópicas de superficie de rodajas de papa en los tiempos finales de fritura para cada una de las combinaciones de temperatura y pre-tratamiento.

3.2. Pérdida de agua

La pérdida de agua es un parámetro importante de ser estudiado, ya que da indicios de la extensión de porosidad desarrollada durante el proceso. La variación del contenido de humedad (g agua/g ss) durante la fritura a distintas temperaturas de aceite y pre-tratamientos se muestra en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 respectivamente y los valores experimentales son mostrados en los anexos D y E del presente trabajo.

Al comienzo del proceso de fritura, la pérdida de agua es alta, debido principalmente a la pérdida de agua superficial. Durante esta etapa, el vapor de agua es liberado uniformemente a través de toda la superficie como pequeñas burbujas, luego la tasa de evaporación decrece como resultado de la formación de corteza y finalmente, para los tiempos finales de fritura, la evaporación es relativamente constante, especialmente a bajas temperaturas de fritura.

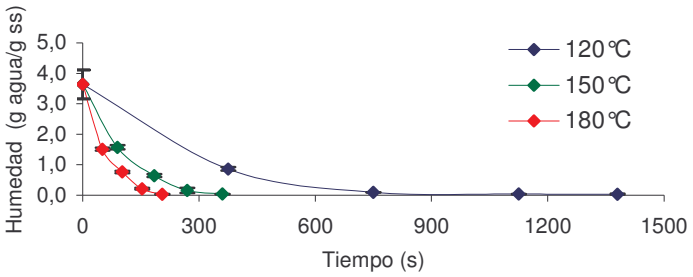

Figura 3.1. Contenido de humedad (b.s.) durante la fritura de rodajas de papas “control” en función del tiempo y temperatura del aceite.

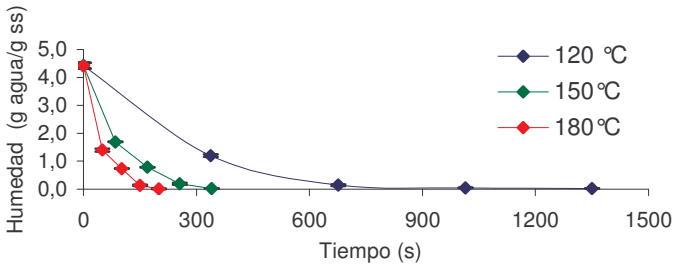

Figura 3.2. Contenido de humedad (b.s.) durante la fritura de rodajas de papas “escaldada” en función del tiempo y temperatura del aceite.

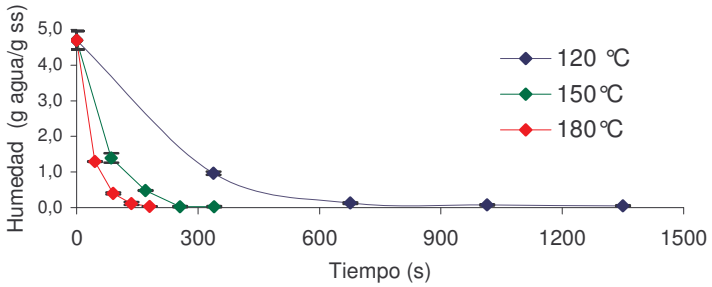

Figura 3.3. Contenido de humedad (b.s.) durante la fritura de rodajas de papas “escaldada e inmersa en NaCl” en función del tiempo y temperatura del aceite.

Como era de esperar y como ha sido reportado en investigaciones previas (Bouchon, 2002; Figueroa y Hernández, 2004; Pedreschi y col., 2006), un incremento en la temperatura del aceite produce una alta tasa de evaporación, con una alta y cercana tasa de pérdida de humedad entre las dos temperaturas más altas estudiadas.

Es así como para distintos pre-tratamientos la pérdida de humedad a una misma temperatura no varía considerablemente, ya que las curvas de pérdida de humedad para los distintos pre-tratamientos y una determinada temperatura, los puntos de las curvas se superponen. Este hecho hace pensar que para éste estudio la pérdida de humedad es independiente de los pre-tratamientos aplicados a rodajas de papa cruda (resultados no mostrados), resultados similares fueron encontrados por Pedreschi y cols, 2006 en su estudio acerca de propiedades físicas de chips pre-tratados.

3.3. Absorción de aceite

La absorción de aceite de productos fritos tiene gran importancia nutricional y económica; se ha propuesto que el mayor contenido de aceite se concentra principalmente en el área cercana a la superficie en contacto con el aceite y que la mayor absorción de éste ocurre cuando las papas son retiradas de la freidora. El contenido de aceite en todos los casos fue expresado como fracción de aceite con respecto al peso total en base seca y son expresados en g aceite/g sólido seco (ss). Los experimentos fueron realizados en duplicado y los resultados individuales son expuestos en los anexos D y E del presente trabajo. Las gráficas individuales donde se representan las distintas fracciones de aceite para cada combinación de temperatura y pre-tratamiento pueden ser observadas en el anexo F.

A continuación en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 se presenta la variación del contenido de aceite total con la pérdida de humedad para cada pre-tratamiento a las distintas temperaturas de estudio a través del tiempo.

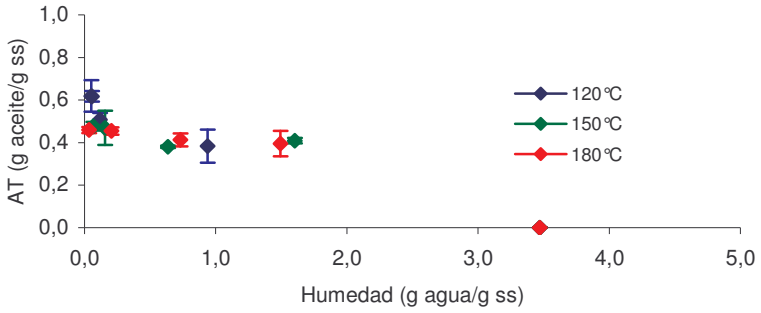

Figura 3.4. Contenido de aceite total (b.s) durante la fritura de rodajas de papas “control” en función de la humedad y temperatura del aceite.

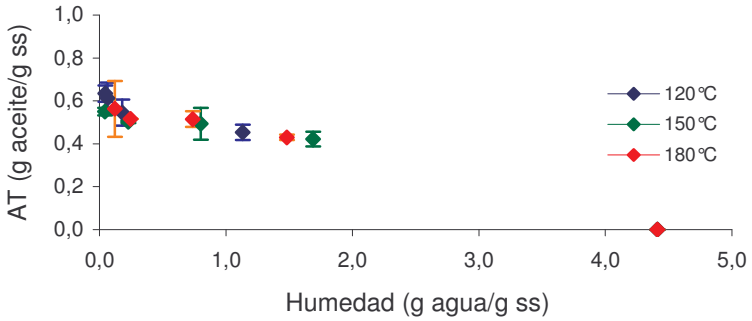

Figura 3.5. Contenido de aceite total (b.s) durante la fritura de rodajas de papas “escaldada” en función de la humedad y temperatura del aceite.

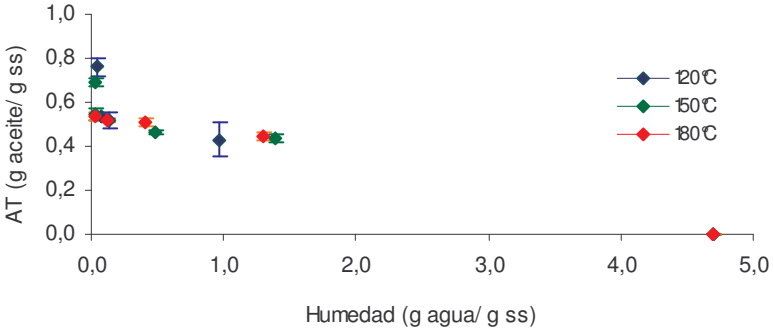

Figura 3.6. Contenido de aceite total (b.s) durante la fritura de rodajas de papas “escaldada e inmersa en NaCl” en función de la humedad y temperatura del aceite.

3.3.1 Aceite Total (AT)

En una rodaja de papa frita, el aceite al final del proceso de fritura bordea el 45% del peso expresado en base húmeda, el cual se distribuye de la siguiente forma: aceite superficial (AS) ~ 2%, aceite absorbido (AA) ~ 33% y aceite estructural ~ 10%. Con variaciones dependiente de la temperatura de fritura y pre-tratamientos aplicados.

La representación gráfica de los valores experimentales puede ser observada en las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9 para temperaturas de fritura de 120, 150 y 180°C respectivamente para los pre-tratamientos estudiados.

El análisis de varianza mostró que el test-F para el modelo fue significativo, demostrando que el modelo explica la variación en la respuesta a través de los factores estudiados. Tanto la temperatura y pre-tratamientos presentaban un efecto significativo ($\rho<0,0001$) sobre el contenido de aceite total.

Al analizar cada factor, del test de comparación de medias para cada nivel mediante el test de Duncan (Montgomery, 1991), se obtuvo que no existieron diferencias significativas ($\rho<0,05$) en cuanto al contenido total de aceite para los pre-tratamientos "escaldado" y "escaldado e inmersión en NaCl", pero sí se encontraron diferencias significativas de las anteriores con respecto al pre-tratamiento "control". Siendo significativamente menor el contenido de aceite total en aquellas muestras sometidas al pre-tratamiento "control", con diferencias porcentuales según sus medias de 14,4 y 12% para "escaldado" y "escaldado e inmersión en NaCl" respectivamente.

De la misma forma se analizó la influencia de la temperatura de fritura sobre el contenido total de aceite, obteniéndose que no existían diferencias estadísticamente significativas entre las dos temperaturas mayores, pero sí entre las anteriores y la temperatura menor, con diferencias porcentuales con respecto a la media de 1,1 y 14,8% para las temperaturas de 150 y 120°C respectivamente con aquel valor presentado a 180°C.

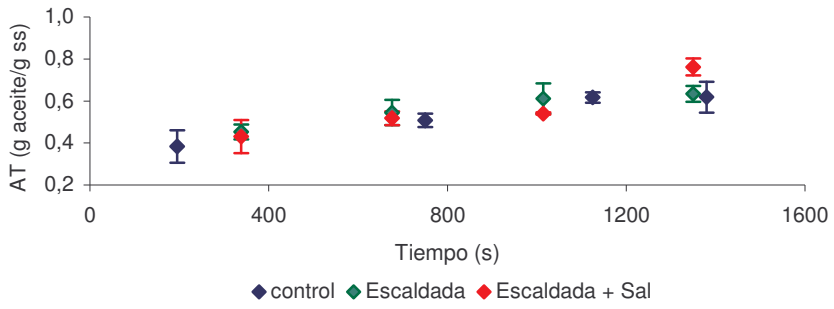

Figura 3.7. Contenido de aceite total (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pretratamientos y fritas a 120 ºC.

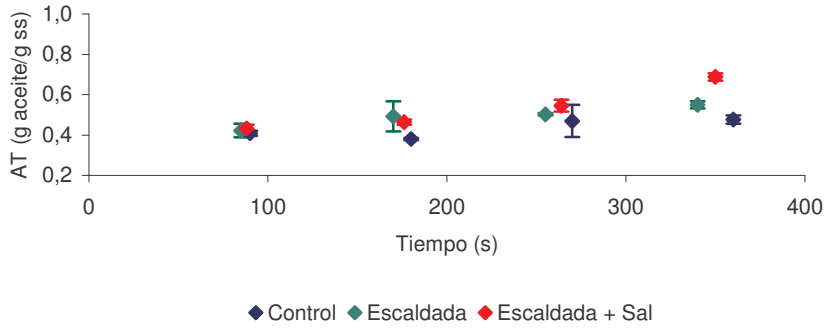

Figura 3.8. Contenido de aceite total (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pretratamientos y fritas a 150 ºC.

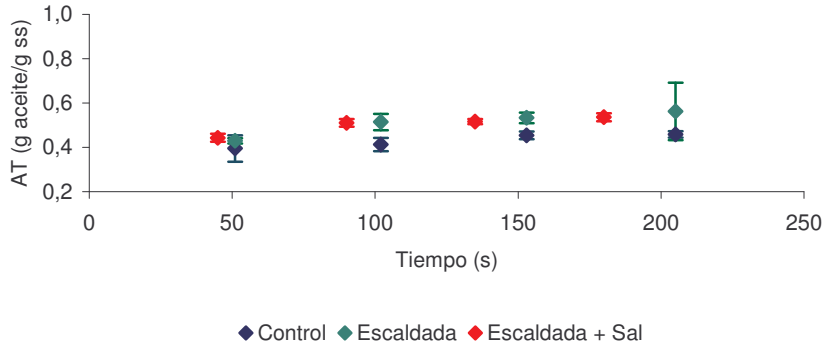

Figura 3.9. Contenido de aceite total (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pretratamientos y fritas a 180 ºC.

3.3.2. Aceite superficial (AS)

El aceite superficial corresponde a aquella fracción de aceite que permanece sobre la superficie luego del enfriamiento y que es fácilmente removible con un lavado rápido en algún solvente apolar. El AS presenta una leve tendencia al descenso para incrementos del tiempo de fritura y pre-tratamientos estudiados.

La representación gráfica de los valores experimentales puede ser observada en las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12 para temperaturas de fritura de 120, 150 y 180°C respectivamente para los pre-tratamientos estudiados.

En todos los casos, el AS se encuentra muy cercano al valor cero siendo en las gráficas el que corresponde a la menor de las fracciones determinadas, corroborando lo obtenido por Moreira y col. (1999) y Bouchon (2002). Estos autores en sus estudios acerca de absorción de aceite, encontraron que el contenido de aceite que permanece en la superficie del producto luego de la fritura es mínimo y la mayor parte de éste penetra al interior de las rodajas durante el enfriamiento. En el presente estudio se obtuvo que el contenido de AS era menor al 3% en base seca, correspondiente aproximadamente del 2 al 6% del contenido total del aceite.

El análisis de varianza mostró que el F-test para el modelo fue significativo, demostrando que el modelo explica la variación en la respuesta a través de los factores estudiados. Obteniéndose, que la temperatura y pre-tratamientos presentaban un efecto significativo ($\rho<0,0001$ y $\rho=0,0003$ respectivamente) sobre el contenido de aceite superficial.

Al analizar cada factor, del test de comparación de medias para cada nivel mediante el test de Duncan (Montgomery, 1991), se obtuvo que no existían diferencias significativas en cuanto al contenido de aceite superficial para los pre-tratamientos “control” y “escaldado e inmersión en NaCl”, pero sí existían diferencias significativas ($\rho<0,05$) de las anteriores con respecto al pre-tratamiento “escaldado”. Siendo menor el contenido de aceite superficial en aquellas muestras sometidas al pre-tratamiento “control”, con diferencias porcentuales en cuanto a sus medias de 9,5 y 23,6% con

respecto a los pre-tratamientos “escaldado e inmersión en sal” y “escaldado” respectivamente.

Así mismo, para las temperaturas en estudio sobre el contenido de aceite superficial no se obtuvieron diferencias significativas entre las dos temperaturas mayores, pero sí entre las anteriores y la menor temperatura. Obteniéndose un aumento porcentual con respecto a las medias de un 14 y 12,4% para las temperaturas 150 y 180°C respectivamente con respecto a la temperatura de120°C.

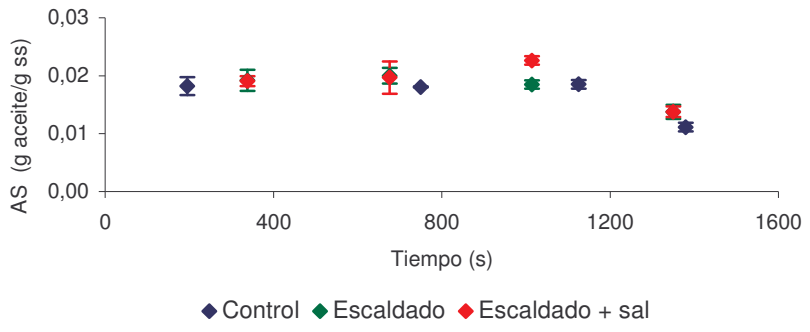

Figura 3.10. Contenido de aceite superficial (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 120°C.

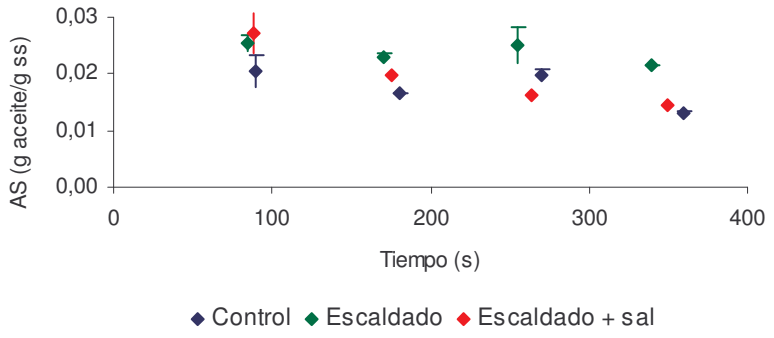

Figura 3.11. Contenido de aceite superficial (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 150°C.

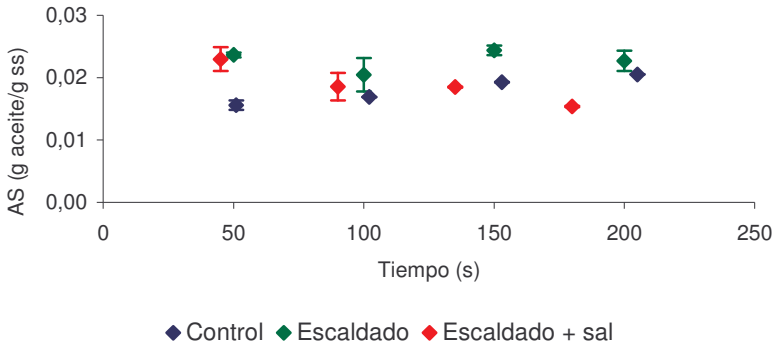

Figura 3.12. Contenido de aceite superficial (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 180°C.

3.3.3. Aceite absorbido (AA)

Al aceite absorbido corresponde a aquella cantidad de aceite que ingresa al interior de microestructura luego de que las rodajas de papa son retiradas de la freidora, impulsado principalmente por un mecanismo de succión generado por la condensación del vapor de agua que se encuentra ocupando los espacios vacíos de la microestructura (poros).

La representación gráfica de los valores experimentales puede ser observada en las Figuras 3.13, 3.14 y 3.15 para temperaturas de fritura de 120, 150 y 180°C respectivamente para los pre-tratamientos estudiados.

La tendencia general del contenido de AA es un incremento con el tiempo de fritura, en este estudio se obtuvo un contenido aproximado de 30-40% en base seca, correspondiente al 70-85% del contenido total de aceite; Bouchon (2002) obtuvo en su estudio acerca de cinéticas de absorción de aceite un incremento de 11-20% en base seca en el contenido de AA, lo que representaba alrededor de 88-89% del contenido de aceite absorbido en el producto, resultados que podrían ser confirmación de que la mayoría del aceite es absorbido sólo al final del proceso de fritura cuando las rodajas de papa son removidos de la freidora. Ufheil y Escher (1996) encontraron resultados similares en un estudio realizado sobre dinámicas de absorción de aceite en rebanadas de papas. El incremento del AA podría ser debido al daño superficial o

desarrollo de la corteza que ocurre durante tempranas etapas del proceso de fritura (donde una baja porosidad es mantenida) y el alto contenido de humedad en las capas externas del chip; a medida que el proceso de fritura continúa y un aumento del grosor de la corteza La interrupción es incrementada cuando la fritura continua un aumento del grosor de la corteza y más vacío es creado, permitiendo la entrada fácil del aceite al interior de la estructura durante el enfriamiento. Como consecuencia, la mayor cantidad de aceite penetra durante los últimos 10 segundos de la fritura y luego del enfriamiento, este es localizado sobre la superficie del chip (aceite superficial) o succionado en la corteza del producto (aceite absorbido en la superficie), la cantidad relativa de ésta fracción de aceite cambia significativamente con incrementos del tiempo de fritura.

También, se observó que a mayores temperaturas de fritura el contenido de aceite absorbido es mayor y se acerca notablemente al contenido de aceite total en las rodajas de papa fritas, debido a que el proceso de fritura ocurre en un tiempo menor y por ello, el aceite que se incorpora a la estructura durante la inmersión es bajo, y como en todos los casos el aceite superficial se mantiene representando la mínima fracción con respecto al aceite total, el contenido de aceite total es en mayor parte representado por el contenido de aceite absorbido (las gráficas detalladas pueden ser observadas en el anexo F del presente trabajo).

El análisis de varianza mostró que el F-test para el modelo no fue significativo, indicando que el modelo no explica la variación en la respuesta a través de los factores estudiados. Obteniéndose, que la temperatura y pre-tratamientos no presentaban un efecto significativo (ρ=0,1956 y 0,2660 respectivamente) sobre el contenido de aceite absorbido.

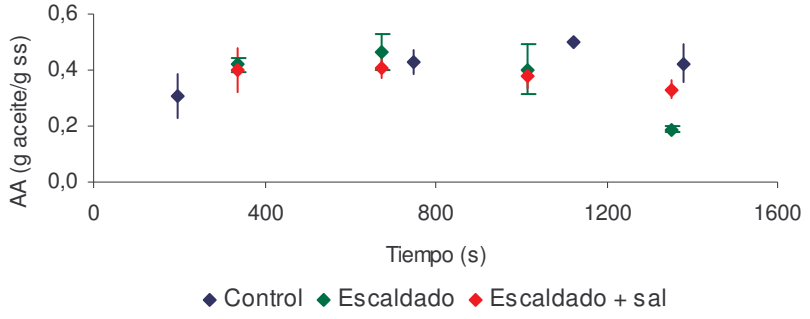

Figura 3.13. Contenido de aceite absorbido (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 120°C.

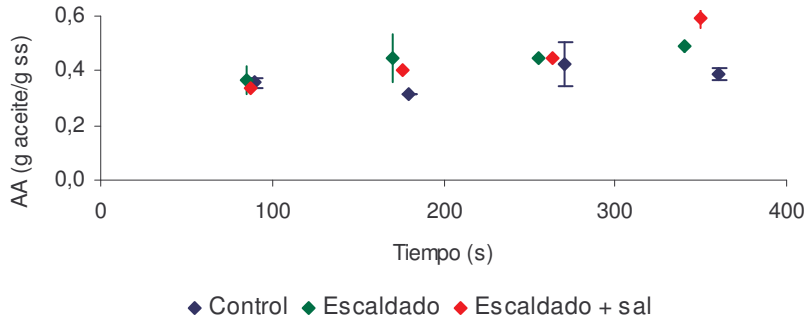

Figura 3.14. Contenido de aceite absorbido (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 150°C.

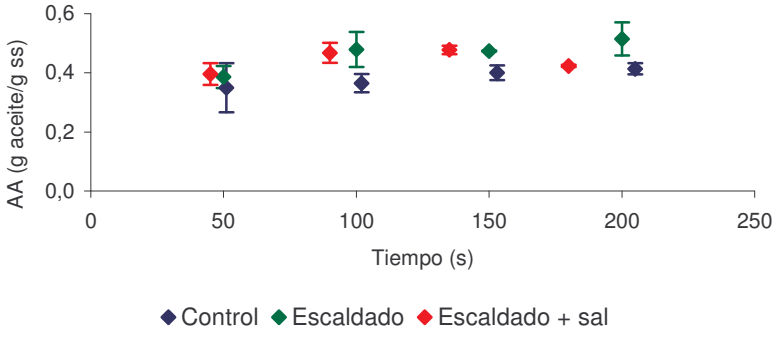

Figura 3.15. Contenido de aceite absorbido (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 180°C.

3.3.4. Aceite estructural (AE)

El aceite estructural representa la fracción de aceite que es absorbido durante el periodo de inmersión y que penetra al interior de la estructura de la papa durante el proceso de fritura. Los resultados muestran que en este grupo de experimentos las rodajas de papas absorbieron una pequeña cantidad de aceite mientras éstas estuvieron sumergidas en la freidora.

La representación gráfica de los valores experimentales puede ser observada en las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18 para temperaturas de fritura de 120, 150 y 180°C respectivamente para los pre-tratamientos estudiados.

El contenido de AE encontrado estuvo en el rango de 8 a 20% del contenido total de aceite, dependiente notablemente de la temperatura de fritura, mientras que Bouchon (2002) determinó en su estudio acerca de modelación de aceite absorbido durante la fritura que contenido de AE no sobrepasaba el 5% del contenido de aceite total y que no existían diferencias significativas en el contenido de aceite estructural para las temperaturas estudiadas. Las diferencias pudieron deberse a que los trabajos realizados por él fueron realizados sobre cilindros de papa donde la parte central se encuentra mucho menos accesible; mientras que en este estudio se trabajó con rodajas de papas donde la matriz o interior se encuentra más expuesta y así el aceite puede incorporarse más fácilmente y por tanto el contenido de AE aumenta, sobre todo en aquellos casos donde la fritura fue realizada a la menor temperatura de trabajo (120°C).

El contenido de AE permaneció relativamente constante durante el proceso de fritura (con excepción de la fritura a 120°C donde se presentaron notables incremento en esta fracción sobretodo en los tiempos finales del proceso), para todas las combinaciones de temperaturas y pre-tratamientos, indicando con ello que la mayoría del aceite es absorbido sólo al final del proceso de fritura, cuando el alimento es retirado del freidor, así, lo obtuvo Bouchon (2002) y Ufheil y Escher (1996) en sus estudios acerca de las dinámicas de absorción de aceite durante la fritura en profundidad de rodajas de papas (las gráficas detalladas pueden ser observadas en el anexo F del presente trabajo).

A medida que la temperatura de fritura aumenta el contenido de aceite estructural se acerca al contenido de aceite superficial, es decir, disminuye y ese comportamiento posiblemente se deba a que a menores temperaturas el proceso de fritura es más lento y el escape del agua menos violento, por lo tanto, el frente de evaporación no produce un efecto limitante al ingreso del aceite y por consiguiente, el aceite puede ser incorporado en la estructura durante el proceso de fritura (mientras el alimento permanece inmerso en el aceite), las gráficas detalladas pueden ser observadas en el anexo F del presente trabajo.

El análisis de varianza mostró que el F-test para el modelo fue significativo, demostrando que el modelo explica la variación en la respuesta a través de los factores estudiados. Obteniéndose, que la temperatura ejerció un efecto significativo ($\rho<0,0001$) sobre el contenido de aceite estructural, contrario a lo obtenido para los pre-tratamientos, los cuales, no presentaron un efecto significativo sobre el contenido de aceite estructural.

Al analizar cada factor, del test de comparación de medias para cada nivel mediante el test de Duncan (Montgomery, 1991), se obtuvo que existían diferencias significativas ($\rho<0,05$) entre las temperaturas estudiadas. Con un mínimo de absorción cuando la temperatura fue mayor y un máximo cuando la temperatura fue menor. Con un incremento porcentual de aceite estructural de 29,6 y 106,3% de las temperaturas 150 y 120°C respectivamente con respecto a 180°C.

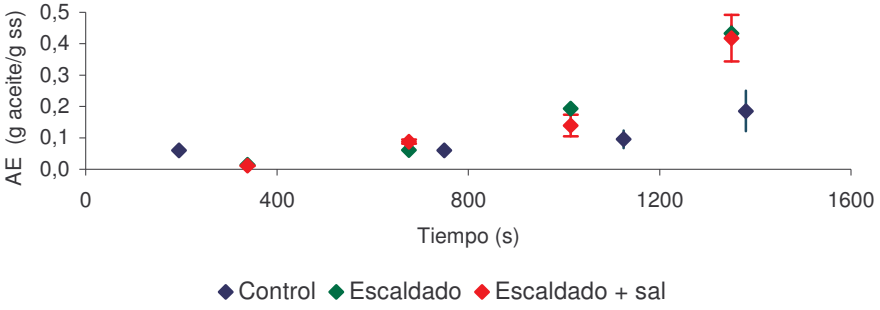

Figura 3.16. Contenido de aceite estructural (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 120°C.

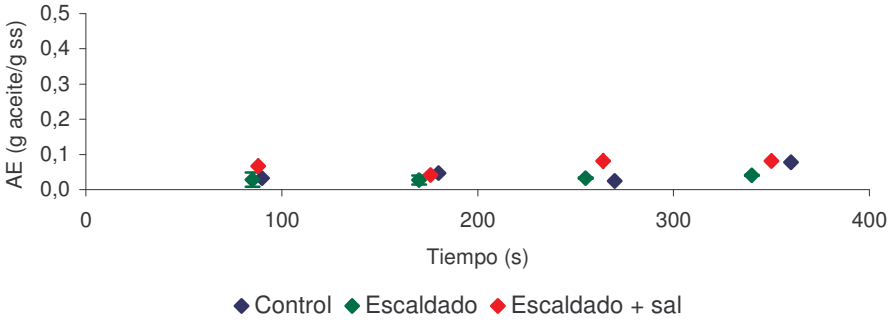

Figura 3.17. Contenido de aceite estructural (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 150°C.

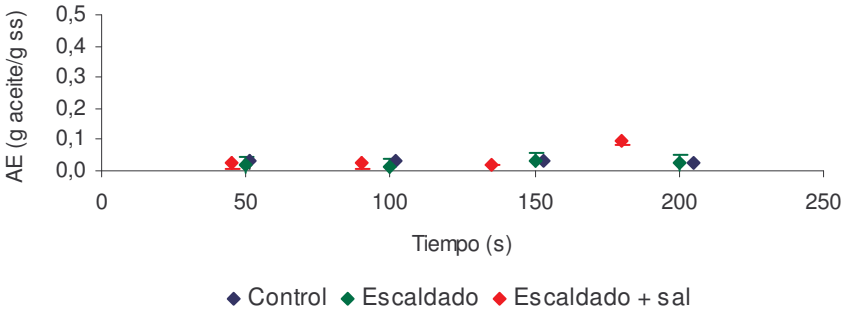

Figura 3.18. Contenido de aceite estructural (b.s.) en rodajas de papas fritas sometidas a distintos pre-tratamientos y fritas a 180°C.

3.3.5. Contenido de aceite para tiempos finales de fritura

Si bien el comportamiento de absorción presentado por el alimento durante el proceso de fritura ayuda a tener mayor información acerca del proceso de fritura es sin duda de gran importancia el contenido de aceite que el producto tendrá al final del proceso, pues corresponde a lo que será consumido.

Tabla 3.1. Contenido de aceite superficial (expresado como fracción del peso en base seca) para el tiempo final del proceso de fritura, en papa sometida a distintos pre-tratamientos y fritura a distintas temperaturas.

	AS (g aceite/g ss)								
T° (°C)	Control [B]			Escaldado [B]			Escaldado + sal [B]		
120 [a]	0,0111	±	0,0007	0,0138	±	0,0012	0,0138	±	0,0009
150 [a]	0,0132	±	0,0003	0,0214	±	0,0002	0,0214	±	0,0003
180 [a]	0,0205	±	0,0000	0,0227	±	0,0016	0,0227	±	0,0001

a: diferencias estadísticamente significativas encontradas en parámetro temperatura
B: diferencias estadísticamente significativas entre los pre-tratamientos.

Tabla 3.2. Contenido de aceite absorbido (expresado como fracción del peso en base seca) para el tiempo final del proceso de fritura, en papa sometida a distintos pre-tratamientos y fritura a distintas temperaturas.

	AA (g aceite/g ss)								
T° (°C)	Control [B]			Escaldado [B]			Escaldado + sal [B]		
120 [a]	0,4225	±	0,1374	0,1876	±	0,0114	0,3307	±	0,0330
150 [a]	0,3852	±	0,0228	0,4881	±	0,0161	0,5917	±	0,0356
180 [a]	0,4137	±	0,0192	0,5144	±	0,1560	0,4234	±	0,0037

a: diferencias estadísticamente significativas encontradas en parámetro temperatura
B: diferencias estadísticamente significativas entre los pre-tratamientos.

Tabla 3.3. Contenido de aceite estructural (expresado como fracción del peso en base seca) para el tiempo final del proceso de fritura, en papa sometida a distintos pre-tratamientos y fritura a distintas temperaturas.

	AE (g aceite/g ss)		
T° (°C)	Control [B]	Escaldado [B]	Escaldado + sal [B]
120 [b]	0,1851 ± 0,0645	0,4326 ± 0,0256	0,4179 ± 0,0743
150 a	0,0783 ± 0,0017	0,0403 ± 0,0015	0,0820 ± 0,0179
180 a	0,0247 ± 0,0054	0,0255 ± 0,0280	0,0976 ± 0,0142

a - b: diferencias estadísticamente significativas encontradas en parámetro temperatura
B: diferencias estadísticamente significativas entre los pre-tratamientos.

Tabla 3.4. Contenido de aceite total (expresado como fracción del peso en base seca) para el tiempo final del proceso de fritura, en papa sometida a distintos pre-tratamientos y fritura a distintas temperaturas.

	AT (g aceite/g ss)		
T° (°C)	Control [B]	Escaldado [B]	Escaldado + sal [B]
120 [a]	0,6187 ± 0,0737	0,6339 ± 0,0382	0,7623 ± 0,0404
150 [a-b]	0,4767 ± 0,0208	0,5498 ± 0,0178	0,6880 ± 0,0180
180 [b]	0,4590 ± 0,0139	0,5627 ± 0,1295	0,5364 ± 0,0177

a - b: diferencias estadísticamente significativas encontradas en parámetro temperatura
B: diferencias estadísticamente significativas entre los pre-tratamientos.

Del análisis estadístico realizado para tiempos finales del proceso de fritura sobre el contenido de AS, AA, AE y AT a las distintas temperaturas y pre-tratamientos aplicados (cuyos valores son representados en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 respectivamente), se obtuvo que la aplicación de pre-tratamientos no presentó un efecto significativo sobre las fracciones de aceite estudiadas en el tiempo final del proceso ($\rho>0,05$), al igual que lo obtenido para el efecto de la temperatura sobre el contenido de AS ($\rho=0,1560$) y AA ($\rho=0,1376$), sin embargo, el contenido de AE ($\rho=0,0088$) y AT ($\rho=0,0791$) fueron influenciados por el efecto de la temperatura. Con un efecto creciente en el contenido de AS al incrementar la temperatura de fritura, una tendencia no muy clara del comportamiento del contenido AA y disminución del contenido de AE y AT al incrementar las temperaturas de fritura mayores.

Tendencias no muy claras con respecto al contenido de aceite para los distintos pre-tratamientos aplicados fueron observadas, sin embargo, en varias ocasiones se mostró un aumento en el contenido de aceite en rodajas escaldadas y escaldadas e inmersas en sal comparado con las rodajas control, debido principalmente a que durante la etapa de escaldado (calentamiento) existe una tendencia a la separación de las células, producto del debilitamiento de las láminas medias de las células de papa y por tanto, éstas permanecen más expuestas y permeables al aceite(producto de la liberación de parte del almidón contenido en ellas al agua de escaldado, lo que permitiría un ingreso más fácil del aceite a ellas) (Aguilera, 1997).

Contrario a los resultados obtenido por Pedreschi y cols (2006), en su estudio acerca propiedades físicas de chips de papas pre-tratados, donde se obtuvo que rodajas de papas inmersas en soluciones de NaCl de concentraciones crecientes resultaban en rodajas de papas fritas con menor contenido final de aceite, durante el presente estudio no se observó una tendencia de disminución en el contenido final de aceite en aquellos chips sometidos al pre-tratamiento de escalado e inmersión en una solución de NaCl.

Con respecto al contenido final porcentual de las distintas fracciones de aceite se obtiene que el contenido de AS representa la menor porción con valores del orden del 1 a 2% para todos los casos, independiente del pre-tratamiento aplicado o la temperatura de fritura empleada, así como, la mayor fracción la ocupa el AA con valores que van de un 20 a 60%, sin una tendencia clara dependiente de la temperatura o pre-tratamiento aplicado. Mientras que el contenido de AE se encuentra distribuido en dos grupos; contenidos del orden del 2 a 10% cuando las temperaturas de fritura fueron altas (150 y 180°C) y del orden de 18 a 40% cuando se utilizó la menor temperatura de fritura (120°C) con incrementos considerables al aplicar pre-tratamientos de escaldado y escaldado + inmersión en NaCl (resultados expresados en porcentaje de aceite en base seca).

3.4. Observaciones Microscópicas

El procesamiento de alimentos induce cambios en la microestructura de éstos los cuales se traducen en características físicas y sensoriales. Durante la fritura de rodajas de papa se desarrolla una capa externa crujiente y aceitosa, en la cual la

microestructura ha sido severamente afectada tanto por las altas temperaturas como por la infiltración de aceite.

3.4.1. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

A continuación se presenta una selección de fotografías microscópicas de la superficie de rodajas de papa fritas, obtenidas al observar rodajas de papa sometidas a pre-tratamientos control, escaldado y escaldado e inmersión en NaCl y fritas a 120°C, 150°C y 180°C para tiempos finales del proceso.

Las imágenes fueron obtenidas a dos resoluciones diferentes, la primera con un aumento de 35x en la cual es posible observar una representación de la microestructura global de las rodajas de papa fritas, donde las imágenes se presentan con una superficie bastante rugosa; las segundas observaciones corresponden a un aumento de 350x donde es posible observar con mayor claridad la microestructura de las células y poros presente en las rodajas de papa fritas.

En la Figura 3.19 es posible observar que, en muestras sometidas a un mismo pre-tratamiento y fritas a las distintas temperaturas de estudio no se observan grandes diferencias en la morfología superficial, sin embargo, con respecto al tamaño de los poros (Figura 3.20). A mayor temperatura de trabajo aumenta el nivel de porosidad de las muestras; así, a temperaturas del aceite de 150°C y 180°C se producen, para muestras control un tamaño de poro menor en comparación con la muestra frita a 120°C, así mismo, el nivel de daño producido como resultado de la salida del agua en forma de vapor de agua es mayor en la fritura a 120°C, debido a que como la temperatura es menor, las células que no fueron cortadas durante la obtención de las rodajas, se hinchan excesivamente producto de la acumulación de vapor hasta alcanzar la ruptura y posterior tostado y endurecimiento de la pared celular rota. Sin embargo, en muestras sometidas a una misma temperatura de fritura y distintos pre-tratamientos en comparación con la muestra control no se aprecian diferencias considerables de estructura superficial (Figura 3.21).

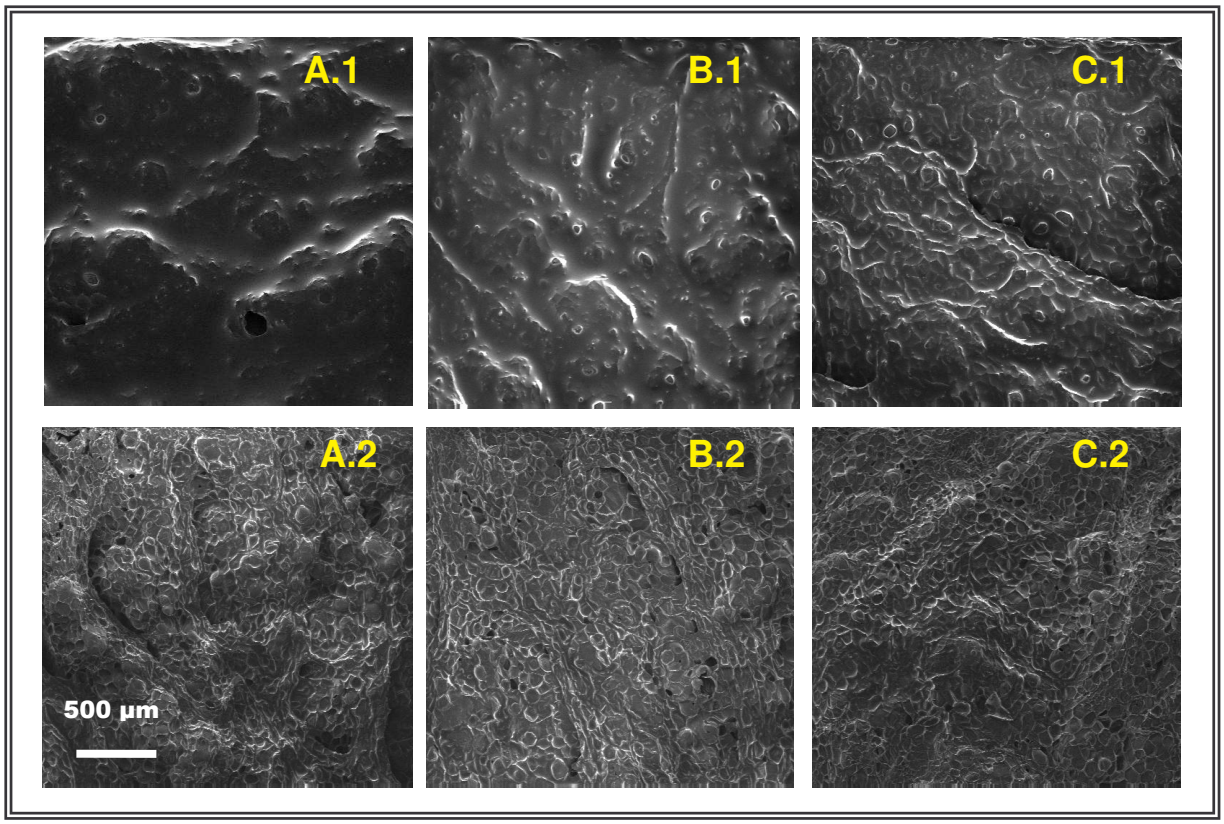

Figura 3.19. (A.1), (B.1) y (C.1) Fotografía microscópica de estructura superficial para rodaja de papa control, frita a 120°C, 150°C y 180°C respectivamente. Sin lavado superficial con éter de petróleo. Aumento de 35x. (A.2), (B.2) y (C.2) Fotografía microscópica de estructura superficial para rodaja de papa control, escaldada y escaldada e inmersa en NaCl respectivamente, frita a 150°C, con lavado superficial con éter de petróleo. Aumento de 35x.

La presencia del aceite es visualmente reconocible en las imágenes por el nivel de brillo de éstas y como era de esperar, rodajas de papa fritas y sometidas a un lavado post-fritura por inmersión en éter de petróleo, se observan notablemente menos brillantes que aquellas no lavadas con éter de petróleo, casi ausentes de brillo, puesto que éste fue solubilizado en el éter de petróleo, permitiendo observar más claramente la morfología superficial de las rodajas fritas.

En muestras sometidas a una lavado post-fritura de 1h con éter de petróleo inmediatamente luego de ser éstos removidos del aceite de fritura (Figura 3.19), se aprecia con mayor claridad la morfología superficial del chip, ya que la mayor parte del

aceite absorbido durante el proceso de fritura es removido, y por tanto la red de poros puede ser observada con mayor profundidad. Por otro lado, en rodajas fritas no sometidos a lavado superficial, los electrones del sistema chocan con el aceite contenido en la superficie originando la reconstrucción del aceite, sin dejar observar la red porosa de las rodajas fritas; confirmando lo planteado con anterioridad donde se postula que la mayor cantidad de aceite absorbido por las rodajas se localiza en la superficie y es absorbido en la superficie de las rodajas.

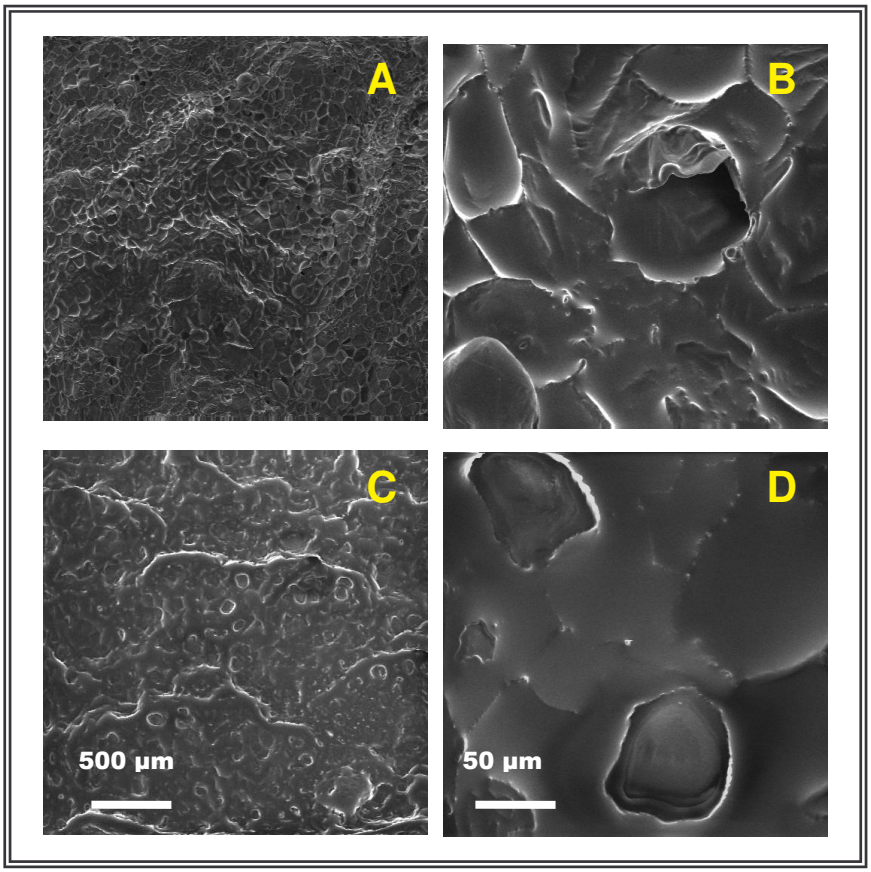

Figura 3.20. Fotografía microscópica de estructura superficial para rodaja de papa escaldada e inmersa en NaCl, frita a 150°C. (A) y (B) con lavado superficial con éter de petróleo y aumento de 35x y 350x respectivamente. (C) y (D) sin lavado superficial con éter de petróleo y aumento de 35x y 350x respectivamente.

En zonas específicas de la figura 3.20 (B) y (D), es posible observar regiones con ausencia de poros, correspondientes a zonas de la rodaja en la cual las células no

fueron dañadas producto de la salida del agua en forma de vapor. Lo observado corresponde claramente a las descripciones de tamaño y forma hexagonal de las células de almidón presente en las papas, es decir 200 µm aproximado a un óvalo y medidos en la zona más ancha de éste.

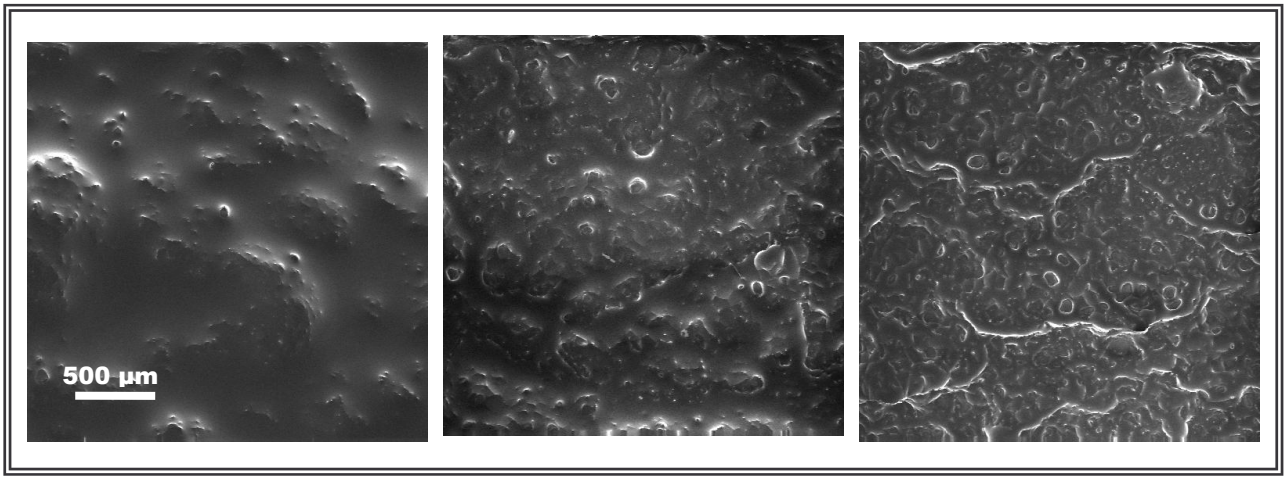

Figura 3.21. Fotografía microscópica de estructura superficial para rodaja de papa escaldada, frita a 120°C, 150°C y 180°C respectivamente. Sin lavado superficial con éter de petróleo. Aumento de 35x.

De las imágenes contenidas en la Figura 3.21, se observa que a menor temperatura de fritura de las rodajas de papa, se produce un mayor contenido de aceite superficial, por la intensidad de brillo, éstas observaciones, sustentan resultados similares a los obtenidos por Moyano y Pedreschi (2005), en su estudio acerca de cinéticas de absorción de aceite de rodajas de papa durante la fritura y efectos de los pretratamientos, donde encontraron que para fritura de rodajas de papas el contenido de aceite incrementó aproximadamente en 32% cuando la temperatura disminuyó desde 180°C a 120°C. Así también, lo reportó Bouchon (2002), en su estudio acerca modelación de aceite absorbido durante la fritura, donde se determinó que no existían grandes diferencias en el contenido de aceite superficial de las rodajas de papas fritas a las dos temperaturas más altas de estudio (170°C y 180°C), sin embargo, si se encontró diferencias importantes al comparar la temperatura menor de fritura (155°C)

con las dos anteriores, resultando esta última en un contenido de aceite superficial mayor.

Por lo mencionado anteriormente aquellas rodajas de papa fritas en aceite a 120°C (Figura 3.21), presentan una estructura superficial más lisa y menos rugosa a simple vista para los distintos pre-tratamientos aplicados, debido a que frituras a bajas temperaturas resultan en la obtención de rodajas de papa con contenido de aceite superficial mayor que aquellas sometidas a mayores temperaturas.

3.4.2. Microscopía Confocal de Barrido Láser (CLSM)

A continuación se presentan una selección de imágenes utilizando la técnica de microscopía confocal y diferentes aplicaciones de software asociados a ella. La imágenes fueron obtenidas de la observación de rodajas de papas sometidas a fritura a 120°C, 150°C y 180°C para tiempos finales y sometidas a pre-tratamientos control, escaldado y escaldado e inmersión en NaCl.

3.4.2.1. Localización de aceite en rodajas de papas frita

La Figura 3.22 muestra una galería de imágenes en modo de fluorescencia, en la cual el aceite corresponde a la fracción fluorescente y los espacios oscuros corresponden a aquellos lugares en los cuales el aceite no está presente, o bien se encuentra presente a una profundidad mayor que la seleccionada para realizar las observaciones microscópicas. Así mismo, la diferencia de intensidad en la fluorescencia de las imágenes corresponde a las distintas profundidades de localización del aceite. La intensidad varía de modo decreciente de amarillo a rojo, siendo la fracción amarilla (más intensa) aquel aceite que se encuentra a menor profundidad.

Las secciones ópticas hechas por el láser fueron realizados a distintas profundidades de la corteza de las rodajas fritas con un intervalo de corte de 10 µm. La profundidad del corte realizado se puede observar en el extremo superior izquierdo de cada recuadro donde 0 µm corresponde a la superficie de la rodaja frita que es observable a simple vista.

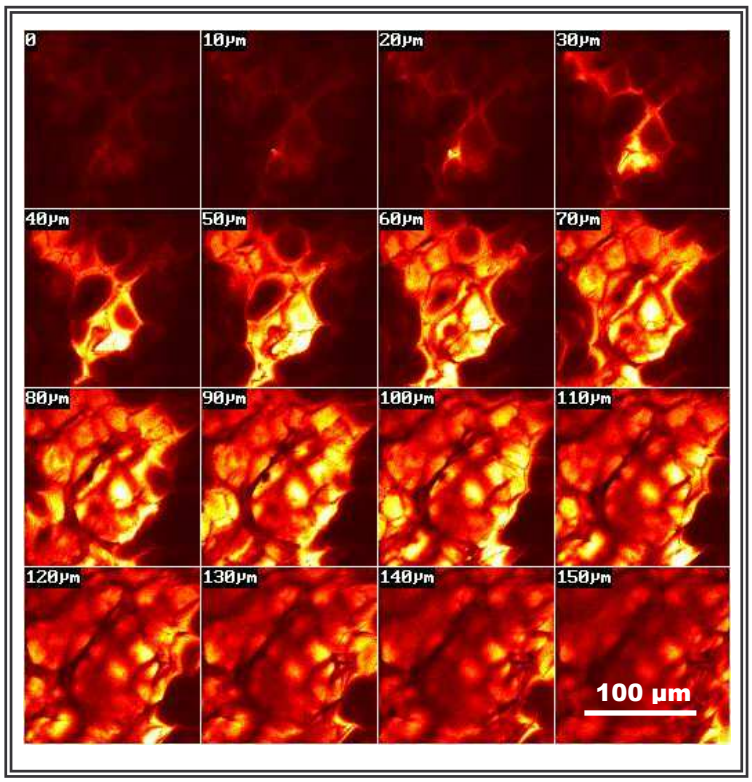

Figura 3.22. Galería de imágenes en modo de fluorescencia de la distribución de aceite en rodajas de papa escaldada, fritas durante 6 minutos a 150℃, en aceite mezclado con NR.

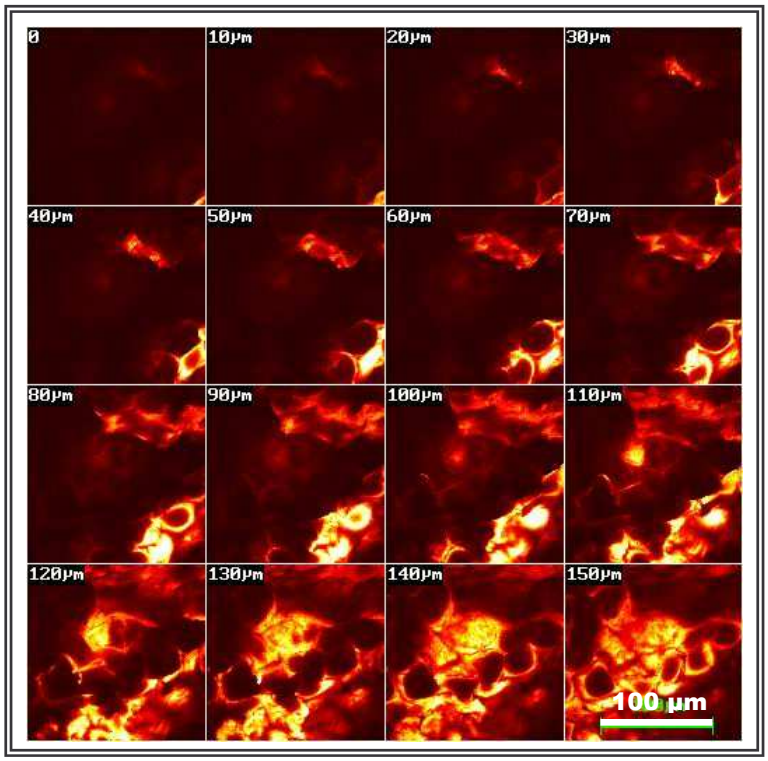

Figura 3.23. Galería de imágenes en modo de fluorescencia, de la distribución de aceite en rodajas de papa escaldada, fritas durante 6 minutos a 150℃, en aceite mezclado con NR y lavado con éter de petróleo posterior a la fritura durante 1hora.

Al comparar ambas imágenes que fueron adquiridas bajo las mismas condiciones, se observa que la distribución del aceite comienza a mostrarse con más fuerza aproximadamente a partir de la novena imagen y que la intensidad de todas ellas es menor en comparación con la Figura 3.22, lo anterior debido a que la muestra presentada en la Figura 3.23 fue sometida a un lavado post fritura por inmersión de las rodajas fritas en éter de petróleo (25℃), con el fin de remover todo aquel aceite fácilmente removible (AS), razón por la cual las capas más externas de la corteza no se encuentran presente o bien sólo permiten ver aquella fracción la cual no es posible remover por medio de inmersión en solventes a temperatura ambiente (AA).

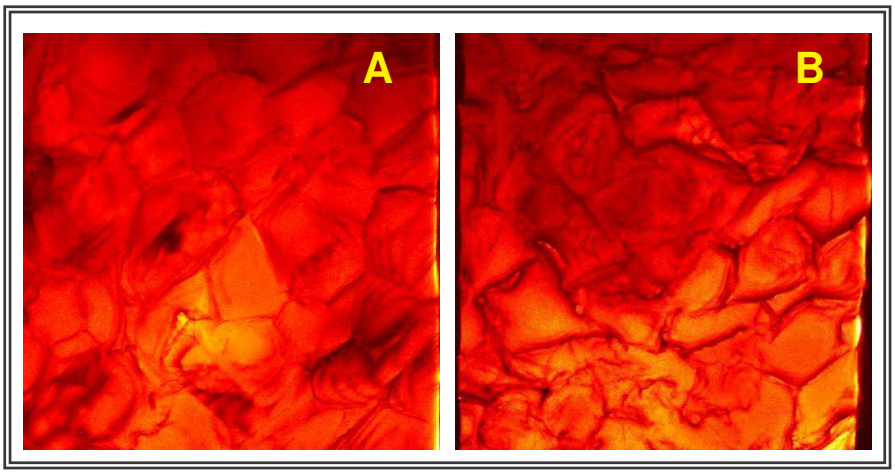

Figura 3.24. Reconstrucción 3D de imágenes a partir de la galería correspondiente de imágenes usando el software Carl Zeiss LSM. (A) Reconstrucción 3D para rodaja de papa escaldada y frita a 150°C. (B) Reconstrucción 3D para rodaja de papa escaldada, frita a 150°C con inmersión en éter de petróleo post-fritura.

El aceite en el producto frito aparece como una clara y delgada capa que recubre las células, sin señales de penetración al interior del las células. La Figura 3.25 sugiere que el aceite se localiza en el espacio intercelular formando una estructura de "caja de huevo" alrededor de las células. La localización del aceite en la corteza sugiere el siguiente mecanismo de penetración de aceite al interior del producto frito. Altas temperaturas solubilizan rápidamente el cemento intercelular. Durante la fritura el agua deja el interior del producto mientras el vapor de agua genera suficiente presión para formar espacios intercelulares y separa las células intactas, así mismo lo definió Pedreschi y cols (1999).

Cuando el producto es removido del aceite caliente, el vapor en el interior se condensa cuando el producto se enfría y el aceite de la superficie es succionado al interior bajo el efecto de vacío a través de los mismos pasajes intercelulares creados por el vapor liberado. En efecto, se ha demostrado que la mayoría del aceite en productos fritos es transferido desde la superficie al interior luego de la remoción del alimento de la freidora (Moreira y cols., 1997; Ufheil y Escher, 1997; Aguilera y Gloria, 2000).

En la Figura 3.25, se observa como el aceite es distribuido de la forma descrita con anterioridad. Donde en el plano frontal se observa claramente la presencia de poros originados por la salida del vapor de agua sobrecalentado, la forma y tamaño, coincide claramente con la forma y tamaño de las células de la papa, además se aprecia contiguo al poro generado la pared celular, así con el cemento entre ellas, intacto y con gran cantidad de aceite adherido a él.

Además, se observa en los cortes realizados el aceite depositado sobre la superficie de las células dañadas formando pequeñas "piscinas", donde nuevamente es posible diferenciar la profundidad a la cual se encuentra localizado el aceite.

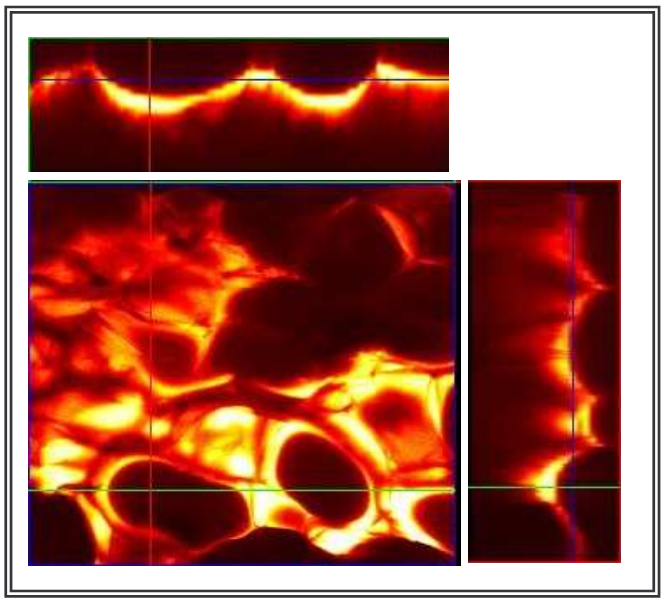

Figura 3.25. Sección ortogonal obtenida mediante software Carl Zeiss Lsm, para una galería de fotografías, obtenidas de rodajas de papa control, frita a 180°C durante 3,5 minutos.

3.4.2.2. Topografía en rodajas de papa frita

En esta sección se muestra la reconstrucción de galerías de imágenes en modo de reflexión, las muestras observadas correspondieron a aquellas rodajas de papas utilizadas en las observaciones de microscopía SEM, es decir, rodajas de sometidas a fritura a 120°C, 150°C y 180°C para tiempos finales y sometidas a pretratamientos

control, escaldado y escaldado e inmersión en NaCl y recubiertas superficialmente con una aleación de oro – paladio (sólo se presentará imágenes representativas de las mediciones realizadas).

La Figura 3.26 muestra una reconstrucción topográfica de la superficie de una rodaja de papa cruda. Las células de papa, están delimitadas por sus paredes y muchas de éstas permanecen abiertas, debido a que la parte superior de la pared celular fue cortada, dejando espacio disponible para el depósito posterior de aceite durante la fritura. Los detalles de la estructura de las células como la heterogeneidad y forma, puede ser observada con alta resolución.

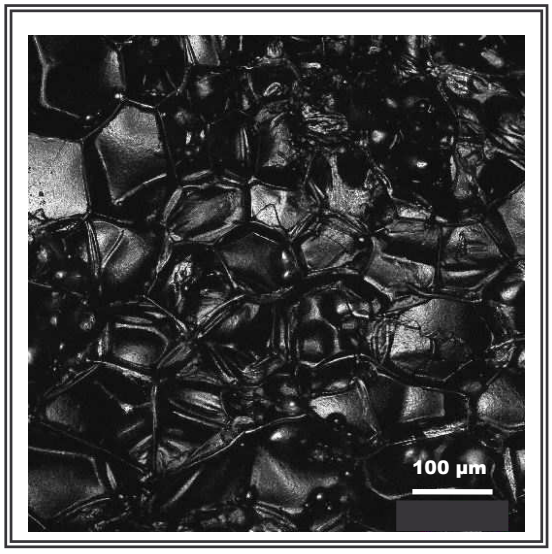

Figura 3.26. Mapa de intensidad superficial de una rodaja de papa cruda. Observada a 20x por CLSM en modo de reflexión.

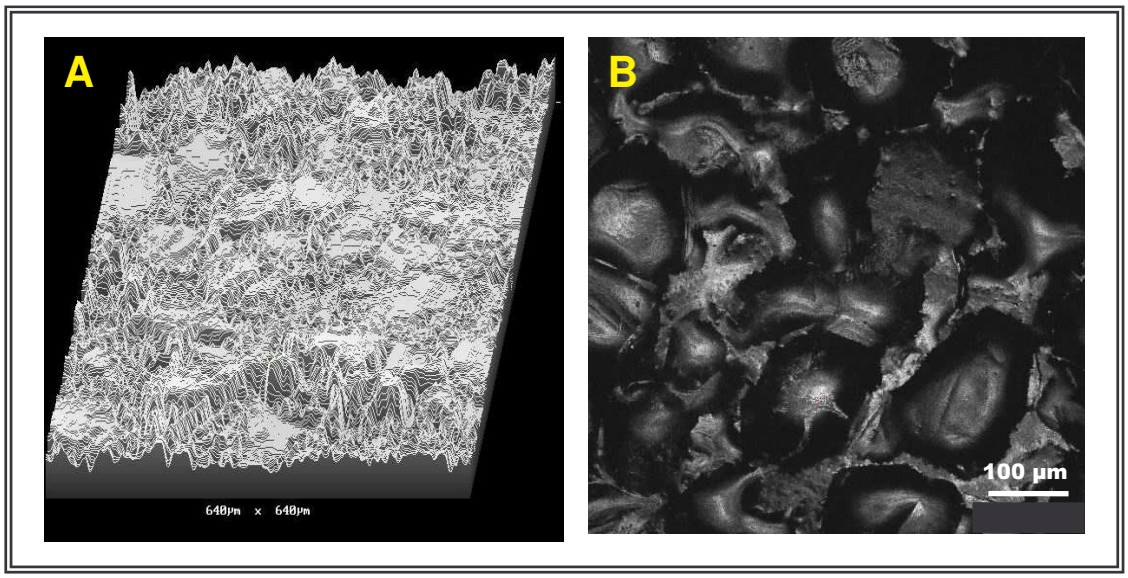

Figura 3.27. (A) Representación topográfica y (B) Mapa de intensidad superficial de una rodaja de papa escaldada y a frita a 150℃ durante 6 min. Observada a 20x. Obtenida por CLSM en modo de reflexión.

Diferentes tipos de superficie pueden ser utilizados en CLSM mediante la utilización de software apropiado. Por ejemplo, en la Figura 3.27 (A) se presenta una representación topográfica, en la cual es posible observar el perfil de topográfico (en cada punto de profundidad) de la superficie de la muestra, mostrando claramente las zonas en las cuales se encuentran los orificios en los cuales el aceite se deposita. Así en cambio en la Figura 3.27 (B) se representa un mapa de intensidad, donde zonas con un alto nivel de intensidad (brillo) corresponden a zonas con mayor acumulación de aceite.

IV. CONCLUSIONES

- La pérdida de agua en rodajas de papa es notablemente dependiente de la temperatura de fritura, es así como a mayores temperaturas de fritura el contenido de humedad considerada como punto de equilibrio para este estudio (2%) se alcanza en tiempos menores, mientras que la aplicación de pre-tratamientos no mostró un efectos notable sobre la pérdida de humedad.

- La metodología aplicada para el estudio de la distribución y cuantificación de las distintas fracciones de aceite en rodajas de papas fritas, resultó ser una metodología adecuada que permitió desarrollar y profundizar acerca del tema.

- En una rodaja de papa frita, el aceite al final del proceso de fritura bordea el 45% del peso expresado en base húmeda, el cual se distribuye de la siguiente forma: aceite superficial (AS) ~ 2%, aceite absorbido (AA) ~ 33% y aceite estructural ~ 10%. Con variaciones dependiente de la temperatura de fritura y pretratamientos aplicados.

- El aceite superficial resultó ser la menor fracción se aceite en rodajas de papas fritas, con valores de 2 al 6% del contenido total del aceite; el contenido de aceite estructural se encontró en el rango de 8 a 20%, mientras que la mayor fracción se obtuvo en aceite absorbido con valores de 70 a 85% del total del aceite.

- El menor contenido de aceite total absorbido se obtuvo en rodajas control y temperatura de fritura de 180°C, así mismo ocurrió con el contenido de aceite superficial y aceite estructural, mientras que el menor contenido de aceite absorbido se obtuvo a la menor temperatura de estudio (120°C) y en papa control.

- La aplicación de pre-tratamientos no presentó un efecto significativo (en relación al control) sobre las fracciones de aceite estudiadas, al igual que la temperatura sobre el contenido de AS y AA; para el contenido de AE se encontraron diferencias significativas de la menor temperatura estudiada con respecto a cada una de las mayores, así como para el contenido de AT se obtuvo que no existieron diferencias significativas entre las temperaturas mayor e intermedia y entre la temperatura intermedia y mayor, pero sí entre ambos grupos.

- En general el contenido de AS presentó incrementos al aumentar la temperatura de fritura, de modo contrario a lo obtenido para el contenido de AE y AT, mientras que el contenido de AA no presentó una tendencia clara de distribución con respecto a la temperatura. Los pre-tratamientos aplicados, no mostraron una tendencia definida frente al contenido de las distintas fracciones de aceite determinadas.

- La microscopía fue una técnica que permitió observar con un mínimo de intrusión la localización y distribución de aceite en rodajas de papa fritas. De ello se obtuvo imágenes que permitieron analizar la morfología superficial, obteniendo que el contenido de aceite superficial disminuye al aumentar las temperaturas de fritura y la localización de ésta fue en forma de pequeños depósitos de aceite sobre las paredes de células formando “piscinas” y no penetró mayormente al interior de las células.

- A menor temperatura de fritura fue posible contemplar un mayor contenido de aceite en las muestras, posiblemente debido a la ubicación superficial de ésta en las muestras estudiadas mediante microscopía SEM.

- Los distintos pre-tratamientos aplicados no afectaron aparentemente la morfología superficial de las rodajas de papa fritas. La mayor cantidad de aceite en rodajas de papa fritas se ubica primordialmente en las capas superficiales, ya que es fácilmente removible por inmersión post-fritura en solventes apolares (éter de petróleo).

V. BIBLIOGRAFIA

- Agroindustria.org: Agroindustria de la papa en Chile. [en línea]. <http: //www.agroindustrias.org/1-08-01 agropapachile.shtml> [consulta: 15 marzo 2005].
- Aguilera J. M. (1997). Temas en Tecnología de Alimentos, volumen 1. CYTED, Programa iberoamericano de ciencias y tecnología para el desarrollo. Instituto Politécnico Nacional, Santiago, Chile.
- Aguilera, J. M. y Gloria, H. (1997). Determination of oil in fried potato products by differential scanning calorimetry. Journal of Agriculture Food Chemistry, 45:781-785.
- Aguilera, J. M. y Gloria, H. (2000). Oil absorption during frying of frozen par-fried potatoes. Food Engineering and Physical Properties. 65:476-479.
- Andersson, A. (1994). Modeling of potato blanching. Ph. D. Thesis, Lund University. Sweden.
- AOAC. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International. 16 th edition. Edited by P. Cunniff. Publicado por AOAC International, 16th edición, volumen 1 y 2, USA.
- Blumenthal, M.M. (1991) A new look at the chemistry and Physics of deep-fat frying. Food Technology, 45: 68-71.
- Bouchon P., (2002). Modeling oil uptake during frying. Thesis submitted as a partial fulfillment for the degree for Doctor of Philosophy. University of Reading, School of Food Biosciences.
- Contreras, E. (2006). El mundo de la papa. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Chile. <http://www.uach.cl/facultad/agrarias /instituto/ prod_sanidad_vegetal/webpapa/pag03.html> [Consulta: 03 mayo 2006].
- Farkas, B.E. (1994) Modeling immersions frying as a moving boundary problem. PhD dissertation. University of California, Davis.
- Fennema, O. (1996). “Química de los alimentos”. 2a ed, Zaragoza, Acribia. 1095 p.
- Figueroa C. y Hernández P. (2004). “Estudio de las características de chips de papas fritas bajo diferentes condiciones de procesamiento y fritura”. Memoria del trabajo titulación para optar al titulación para optar al titulo de Ingeniero de Alimentos. Universidad de Santiago de Chile, Facultad tecnológica, departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
- Gamble, M.H. y Rice, P. (1987) Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crips manufacture. International Journal of Food Science and Technology, 22: 535-548.

- Grágeda, M. y Montesinos, S. (2006). Guía para estudiantes del programa de doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Ciencia de los Materiales, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Hurtado, M. (2001). Presente y Perspectivas de la Industria de Snack en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 50. Santiago, Chile.
- INDAP. Programa de Redes de Empresas para Pequeños Empresarios. Panorama de Papas. Resumen de 1 al 30 de Octubre de 2001, Vol. I - Nº 1, Chile <http://www.sitec.cl/DOC/papa%20N%C2% BA1.doc> [consulta: 03 mayo 2006].
- Kalazich, B. Bortolameolli, S. Rojas, R. López, T. Uribe, G. Gutierrez, M. Variedades de papa INIA. Yagana:. Ficha 1. Tierra Adentro. 11: 25, 1996.
- Montgomery, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. Editorial Iberoamérica S.A. Belmont, California.
- Moreira R., Sun, X. y Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla de chip in deep-fat frying. Journal of Food Engineering, 18: 307-320.
- Moreira R., Castell-Pérez M., Barrufet M. (1999). Deep-Fat Frying Fundamental and Applications. Aspen Publishers, Inc. Caithersburg, Maryland.
- Moyano P., Pedreschi F. (2005). Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. Elsevier 39:285-291.
- Nonaka, M., Sayre, R., y Weaver, M. (1977). Oil content of french fries as affect by blanch temperatures, fry temperatures and melting point of frying oils. American Potato Journal, 54:151-159.
- Núñez, H. (2001). Presente y Perspectivas de la Industria de Snack en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N°50. Santiago, Chile.
- Pedreschi, F., Aguilera, J.M., Arbildua, J.J. (1999). CLSM study of oil location in fried potato slices. Food Technology. November págs 21-22.
- Pedreschi, F., Moyano, P., Santis, N., Pedreschi, R., (2006). Physical properties of pre-treated potato chips. Elsevier, article in press.
- Pinthus, E. J. y Saguy, L.S. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanisms. Food technology. 49 (4): 142-145, 152.
- Reeve, R. y Neal, E. (1960). Microscopic structure of potato chips. Am Potato J. 37: 45-57
- Segnini, S. (2000). Texture and Color of Potato Products. Thesis for the degree Doctor. Lund University, Department of Food Engineering.

- Soto, E. La microscopia confocal. Centro de Ciencias Fisiológicas. Instituto de Ciencias, Universidad Autónoma de Puebla, México <http://www.fisio.buap.mx/online/confocal/-confocal.htm> [consulta 03 mayo 2006].
- Ufheil, G. y Escher, F. (1996). Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. Lebensmittel - Wissenschaft & Technologies, 29: 640-644.
- Vodovotz, Y., Vittadini, E., Coupland, J., McClements, D.J. and Chinachoti, P. (1996). Bridging the gap: Use of confocal microscopy in food research. Food Technol. 50 (1): 75-82.

IV. CONCLUSIONES

- La pérdida de agua en rodajas de papa es notablemente dependiente de la temperatura de fritura, es así como a mayores temperaturas de fritura el contenido de humedad considerada como punto de equilibrio para este estudio (2%) se alcanza en tiempos menores, mientras que la aplicación de pre-tratamientos no mostró un efectos notable sobre la pérdida de humedad.

- La metodología aplicada para el estudio de la distribución y cuantificación de las distintas fracciones de aceite en rodajas de papas fritas, resultó ser una metodología adecuada que permitió desarrollar y profundizar acerca del tema.

- En una rodaja de papa frita, el aceite al final del proceso de fritura bordea el 45% del peso expresado en base húmeda, el cual se distribuye de la siguiente forma: aceite superficial (AS) ~ 2%, aceite absorbido (AA) ~ 33% y aceite estructural ~ 10%. Con variaciones dependiente de la temperatura de fritura y pretratamientos aplicados.

- El aceite superficial resultó ser la menor fracción se aceite en rodajas de papas fritas, con valores de 2 al 6% del contenido total del aceite; el contenido de aceite estructural se encontró en el rango de 8 a 20%, mientras que la mayor fracción se obtuvo en aceite absorbido con valores de 70 a 85% del total del aceite.

- El menor contenido de aceite total absorbido se obtuvo en rodajas control y temperatura de fritura de 180°C, así mismo ocurrió con el contenido de aceite superficial y aceite estructural, mientras que el menor contenido de aceite absorbido se obtuvo a la menor temperatura de estudio (120°C) y en papa control.

- La aplicación de pre-tratamientos no presentó un efecto significativo (en relación al control) sobre las fracciones de aceite estudiadas, al igual que la temperatura sobre el contenido de AS y AA; para el contenido de AE se encontraron diferencias significativas de la menor temperatura estudiada con respecto a cada una de las mayores, así como para el contenido de AT se obtuvo que no existieron diferencias significativas entre las temperaturas mayor e intermedia y entre la temperatura intermedia y mayor, pero sí entre ambos grupos.

- En general el contenido de AS presentó incrementos al aumentar la temperatura de fritura, de modo contrario a lo obtenido para el contenido de AE y AT, mientras que el contenido de AA no presentó una tendencia clara de distribución con respecto a la temperatura. Los pre-tratamientos aplicados, no mostraron una tendencia definida frente al contenido de las distintas fracciones de aceite determinadas.

- La microscopía fue una técnica que permitió observar con un mínimo de intrusión la localización y distribución de aceite en rodajas de papa fritas. De ello se obtuvo imágenes que permitieron analizar la morfología superficial, obteniendo que el contenido de aceite superficial disminuye al aumentar las temperaturas de fritura y la localización de ésta fue en forma de pequeños depósitos de aceite sobre las paredes de células formando “piscinas” y no penetró mayormente al interior de las células.

- A menor temperatura de fritura fue posible contemplar un mayor contenido de aceite en las muestras, posiblemente debido a la ubicación superficial de ésta en las muestras estudiadas mediante microscopía SEM.

- Los distintos pre-tratamientos aplicados no afectaron aparentemente la morfología superficial de las rodajas de papa fritas. La mayor cantidad de aceite en rodajas de papa fritas se ubica primordialmente en las capas superficiales, ya que es fácilmente removible por inmersión post-fritura en solventes apolares (éter de petróleo).

V. BIBLIOGRAFIA

- Agroindustria.org: Agroindustria de la papa en Chile. [en línea]. <http: //www.agroindustrias.org/1-08-01 agropapachile.shtml> [consulta: 15 marzo 2005].
- Aguilera J. M. (1997). Temas en Tecnología de Alimentos, volumen 1. CYTED, Programa iberoamericano de ciencias y tecnología para el desarrollo. Instituto Politécnico Nacional, Santiago, Chile.
- Aguilera, J. M. y Gloria, H. (1997). Determination of oil in fried potato products by differential scanning calorimetry. Journal of Agriculture Food Chemistry, 45:781-785.
- Aguilera, J. M. y Gloria, H. (2000). Oil absorption during frying of frozen par-fried potatoes. Food Engineering and Physical Properties. 65:476-479.
- Andersson, A. (1994). Modeling of potato blanching. Ph. D. Thesis, Lund University. Sweden.
- AOAC. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International. 16 th edition. Edited by P. Cunniff. Publicado por AOAC International, 16th edición, volumen 1 y 2, USA.
- Blumenthal, M.M. (1991) A new look at the chemistry and Physics of deep-fat frying. Food Technology, 45: 68-71.
- Bouchon P., (2002). Modeling oil uptake during frying. Thesis submitted as a partial fulfillment for the degree for Doctor of Philosophy. University of Reading, School of Food Biosciences.
- Contreras, E. (2006). El mundo de la papa. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Chile. <http://www.uach.cl/facultad/agrarias /instituto/ prod_sanidad_vegetal/webpapa/pag03.html> [Consulta: 03 mayo 2006].
- Farkas, B.E. (1994) Modeling immersions frying as a moving boundary problem. PhD dissertation. University of California, Davis.
- Fennema, O. (1996). “Química de los alimentos”. 2a ed, Zaragoza, Acribia. 1095 p.
- Figueroa C. y Hernández P. (2004). “Estudio de las características de chips de papas fritas bajo diferentes condiciones de procesamiento y fritura”. Memoria del trabajo titulación para optar al titulación para optar al titulo de Ingeniero de Alimentos. Universidad de Santiago de Chile, Facultad tecnológica, departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
- Gamble, M.H. y Rice, P. (1987) Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crips manufacture. International Journal of Food Science and Technology, 22: 535-548.

- Grágeda, M. y Montesinos, S. (2006). Guía para estudiantes del programa de doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Ciencia de los Materiales, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Hurtado, M. (2001). Presente y Perspectivas de la Industria de Snack en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 50. Santiago, Chile.
- INDAP. Programa de Redes de Empresas para Pequeños Empresarios. Panorama de Papas. Resumen de 1 al 30 de Octubre de 2001, Vol. I - Nº 1, Chile <http://www.sitec.cl/DOC/papa%20N%C2% BA1.doc> [consulta: 03 mayo 2006].
- Kalazich, B. Bortolameolli, S. Rojas, R. López, T. Uribe, G. Gutierrez, M. Variedades de papa INIA. Yagana:. Ficha 1. Tierra Adentro. 11: 25, 1996.
- Montgomery, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. Editorial Iberoamérica S.A. Belmont, California.
- Moreira R., Sun, X. y Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla de chip in deep-fat frying. Journal of Food Engineering, 18: 307-320.
- Moreira R., Castell-Pérez M., Barrufet M. (1999). Deep-Fat Frying Fundamental and Applications. Aspen Publishers, Inc. Caithersburg, Maryland.
- Moyano P., Pedreschi F. (2005). Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: effect of pre-treatments. Elsevier 39:285-291.
- Nonaka, M., Sayre, R., y Weaver, M. (1977). Oil content of french fries as affect by blanch temperatures, fry temperatures and melting point of frying oils. American Potato Journal, 54:151-159.
- Núñez, H. (2001). Presente y Perspectivas de la Industria de Snack en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N°50. Santiago, Chile.
- Pedreschi, F., Aguilera, J.M., Arbildua, J.J. (1999). CLSM study of oil location in fried potato slices. Food Technology. November págs 21-22.
- Pedreschi, F., Moyano, P., Santis, N., Pedreschi, R., (2006). Physical properties of pre-treated potato chips. Elsevier, article in press.
- Pinthus, E. J. y Saguy, L.S. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanisms. Food technology. 49 (4): 142-145, 152.
- Reeve, R. y Neal, E. (1960). Microscopic structure of potato chips. Am Potato J. 37: 45-57
- Segnini, S. (2000). Texture and Color of Potato Products. Thesis for the degree Doctor. Lund University, Department of Food Engineering.

- Soto, E. La microscopia confocal. Centro de Ciencias Fisiológicas. Instituto de Ciencias, Universidad Autónoma de Puebla, México <http://www.fisio.buap.mx/online/confocal/-confocal.htm> [consulta 03 mayo 2006].
- Ufheil, G. y Escher, F. (1996). Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. Lebensmittel - Wissenschaft & Technologies, 29: 640-644.
- Vodovotz, Y., Vittadini, E., Coupland, J., McClements, D.J. and Chinachoti, P. (1996). Bridging the gap: Use of confocal microscopy in food research. Food Technol. 50 (1): 75-82.