

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE FRITURA DE PASABOCAS DE
PLÁTANO - VARIEDAD DOMINICO HARTON (*MUSA AAB SIMMONDS*)**

**LILIBETH JOHANA ROSAS GONZALES
EDGAR ENRIQUE ZAMBRANO ACOSTA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE FRITURA DE PASABOCAS DE
PLÁTANO - VARIEDAD DOMINICO HARTON (*MUSA AAB SIMMONDS*)**

**LILIBETH JOHANA ROSAS GONZALES
EDGAR ENRIQUE ZAMBRANO ACOSTA**

**TRABAJO DE GRADO, PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ASESOR:
ALVARO CORNEJO PERDOMO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1º de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

Nota de aceptación:

Msc. Diego Mejía España

Dr. Oswaldo Osorio

San Juan de Pasto Agosto de 2012

RESUMEN

El plátano, es un producto promisorio para Colombia, siendo uno de los más consumidos por el sector urbano y rural del país, con el cual se hace necesaria la ampliación de la oferta nacional en cuanto a productos procesados, principalmente en la elaboración de frituras a nivel industrial. Para la caracterización del proceso de fritura por inmersión de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón, se estableció tres temperaturas (140 °C, 160 °C y 180° C), cuatro tiempos (60s, 120s, 180s y 240 segundos), dos relaciones producto – aceite (0,5/80 y 1/80) y dos grosores del pasabocas (2mm y 3mm), aplicando como método de análisis estadístico un diseño experimental factorial desbalanceado; con los pasabocas fritos, se determinaron cinéticas de contenido de humedad, contenido de aceite, y características como color y textura.

El análisis de grasa y humedad se realizó con 10,4g \pm 0,1 de pasabocas fritos de plátano; el contenido de humedad se determinó por método de secado en estufa; su contenido de grasa, por método soxhlet; el color, con el colorímetro HunterLab en la escala CIElab, con observador de 10° y un iluminante D 65; y la textura, con el texturómetro modelo EZ test/CE, con software Rheo-Meter, que establece la fuerza máxima en Newtons, necesaria para romper el pasabocas frito.

Finalmente, y teniendo en cuenta que el parámetro más relevante en la caracterización del proceso de fritura es el contenido de humedad, de los resultados obtenidos, se seleccionaron los tratamientos que contienen valores menores al 4% de humedad; los que se evaluaron mediante metodología de algoritmos, con el fin de verificar que estos cumplieron con todos los requisitos establecidos teóricamente (Grasa: Menor 30%; Fuerza máxima de ruptura: 5,7N; Color: Dorado). A su vez, para encontrar el mejor tratamiento, se desarrolló el modelo de Monod para la cinética de grasa y el modelo de difusión para humedad; dando como resultado que el mejor tratamiento del proceso de fritura de pasabocas de plátano dominico hartón es el tratamiento T2, con las condiciones de proceso de temperatura de 160°C un tiempo de 240s, grosor de 2mm y una relación aceite/producto de 1/80, que permiten alcanzar características finales de: Fuerza máxima de ruptura de 4,874N; Color: 40,11; Humedad: 2,303%bh y un contenido de grasa de 27,69% en bh.

ABSTRACT

The plantain is a promising product for Colombia, one of the most consumed by the urban and rural areas of the country, with which it is necessary to increase domestic supply in terms of products processed primarily in the manufacture of chips to industrial level. To characterize the process of deep frying of snack banana variety Dominico Harton, was established three temperatures (140 °C, 160 °C and 180 °C), four times (60s, 120s, 180s and 240 seconds), two output ratios - oil (0.5 / 80 and 1/80) and two thicknesses of snacks (2mm and 3mm), applying statistical analysis as a method of factorial experimental design unbalanced, with the fried snacks, kinetics were determined moisture content, content oil, and feature such as color and texture.

The fat and moisture analysis was performed with 10.4 ± 0.1 g of fried plantain snacks, the moisture content was determined by oven-drying method, the fat content by soxhlet method, the color with a colorimeter HunterLab scale CIELAB, with observers from 10 ° and an illuminant D 65, and texture, with a texture EZ Test / CE, with software Rheo-Meter, which provides the maximum force in Newtons required to break the snacks fried.

Finally, considering that the most relevant parameter in characterizing the frying process the moisture content, the results obtained, are selected treatments containing values less than 4% moisture content, which were evaluated using methodology algorithms, in order to verify that they met all requirements established theoretically (Fat: Less 30% maximum breaking force: 5.7 N; Color: Gold). In turn, to find the best treatment, developed the model of Monod kinetics for fat and moisture diffusion model for, with the result that the best treatment of the frying process of snacks Dominican plantain Harton is the treatment T2 with the process conditions of temperature of 160 °C a time of 240s, thickness 2 mm and an oil / product of 1/80, which allow to reach final characteristics: maximum breaking force 4.874 N; Color: 40.11; Moisture: 2.303% wb and a fat content of 27.69% in bh.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 FUNDAMENTO TEORICO DEL PLÁTANO.....	18
2.1.1 Plátano.....	18
2.1.2 Situación del cultivo de plátano.....	19
2.1.3 Industrialización del plátano.....	22
2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROCESO DE FRITURA.....	23
2.2.1 Definición.....	23
2.2.2.1 Transferencia de calor en la fritura.....	24
2.2.2.2 Transferencia de materia durante el proceso de fritura.....	24
2.3 ACEITE DE FRITURA.....	28
2.4 ATRIBUTOS DE CALIDAD PARA LOS PRODUCTOS FRITOS.....	30
2.4.1 Textura.....	30
2.4.2 Color.....	30
2.5 MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL PROCESO DE FRITURA.....	31
2.5.1 Modelos empíricos.....	31
2.5.2 Modelos difusionales.....	32
2.5.3 Modelos de frente de recesión.....	35
2.4.4 Modelos que consideran la estructura.....	35
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1 OBTENCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA DE ESTUDIO.....	37
3.2. ÍNDICE DE MADUREZ.....	37
3.2.1 Cualitativo.....	37

3.2.2. Cuantitativa	38
3.3 OBTENCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA PULPA DE PLÁTANO.....	39
3.4 PROCESO DE FRITURA.....	39
3.4.1 Medio calefactor (Aceite).	39
3.4.2 Freidora.....	40
3.4.3 Factores Experimentales	40
3.4.4 Equipos de Apoyo.....	40
3.5 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LOS PASABOCAS DE PLÁTANO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (Musa AAB Simmonds)	41
3.5.1 Método soxhlet para extracción de grasa	41
3.5.2 Método de secado por estufa para determinar el contenido de humedad	42
3.5.3 Evaluación de textura	42
3.5.4 Evaluación de color.....	43
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	44
3.7 MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA LOS MEJORES TRATAMIENTOS DEL PROCESO DE FRITURA DE PASABOCAS DE PLÁTANO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (MUSA AAB SIMMONDS).....	44
3.7.1 Selección de los tratamientos con contenidos de humedad menores al 4%.	44
3.7.2 Determinación de los tratamientos que cumplen con los parámetros establecidos teóricamente (Humedad, grasa y textura).....	45
3.7.3 Modelamiento de los tratamientos de fritura de pasabocas de plátano Dominico Hartón adecuados según el algoritmo.....	46
3.7.3.1 Modelo de Monod	47
3.7.3.2 Modelo de difusión.....	48
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA.....	50
4.2 COMPORTAMIENTO DEL COLOR EN LOS PASABOCAS DE PLÁTANO FRITO. 50	
4.3 TEXTURA DE LOS PASABOCAS DE PLÁTANO FRITO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (Musa AAB Simmonds)	63

4.4 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS PASABOCAS DE PLÁTANO FRITO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (MUSA AAB SIMMONDS) .67	
4.5 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA GRASA EN LOS PASABOCAS DE PLATANO FRITO. ....71	
4.6 MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA EL MEJOR TRATAMIENTO DEL PROCESO DE FRITURA DE PASABOCAS DE PLÁTANO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (<i>Musa AAB Simmonds</i>).....75	
4.6.1 Selección de los mejores tratamientos del proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad dominico hartón (musa aabsimmonds).....75	
CONCLUSIONES .....79	
RECOMENDACIONES.....80	
BIBLIOGRAFÍA .....81	
ANEXOS.....90	

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Valor nutricional del plátano fresco por 100g de sustancia comestible .	19
Cuadro 2. Área, producción, rendimiento y unidades productoras del cultivo de plátano por departamento. Año 2009.....	21
Cuadro 3. Valores promedio del factor de L*	51
Cuadro 4. Análisis de varianza ANOVA para L* Suma de Cuadrados Tipo III.....	53
Cuadro 5. Valores promedio del factor a*	54
Cuadro 6. Análisis de varianza ANOVA para a*. Suma de Cuadrados Tipo III.....	57
Cuadro 7. Valores promedio del factor b*	58
Cuadro 8. Análisis de varianza ANOVA para b* - Suma de Cuadrados Tipo III	60
Cuadro 9. Valores promedio del factor ΔE	61
Cuadro 10. Análisis de varianza ANOVA para $\square E$ - Suma de Cuadrados Tipo III.	62
Cuadro 11. Valores promedio de la fuerza máxima de ruptura del plátano frito	63
Cuadro 12. Análisis de varianza para textura.- Suma de Cuadrados Tipo III	67
Cuadro 13. Valores promedio del comportamiento de la humedad.	68
Cuadro 14. Análisis de varianza para ANOVA humedad. Suma de Cuadrados Tipo III.....	70
Cuadro 15. Valores promedio de la cantidad de grasa en los pasabocas de plátano	71
Cuadro 16. Análisis de varianza ANOVA para grasa. Suma de Cuadrados Tipo III	74
Cuadro 17. Mejores tratamientos en el proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón (Musa AAB Simmonds)	76
Cuadro 18. Datos del Modelamiento matemático a partir de la Ecuación de Monod	76
Cuadro 19. Valores del coeficiente de Difusión (Deff), de la Energía de activación y del Coeficiente de determinación del modelo.	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cultivo de plátano	18
Figura 2. Procesos en la industrialización del plátano	22
Figura 3. Representación esquemática de los principios físicos de la fritura	27
Figura 4. Polimerización de aceite durante el proceso de freído	29
Figura 5. Mecanismo de hidrólisis de los aceites	29
Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología de la investigación	36
Figura 7. Tabla de color del plátano Dominic Hartón	37
Figura 8. Determinación del porcentaje de acidez por titulación ácido - base	38
Figura 9. Formación de las tajadas de plátano Dominic Hartón	39
Figura 10. Esquema del montaje del proceso de fritura	40
Figura 11. Extracción de la grasa por método soxhlet en los pasabocas fritos	41
Figura 12. Determinación de la humedad por método de secado en estufa	42
Figura 13. Determinación de textura por fractura en flexión	43
Figura 14. Determinación del color con colorímetro	43
Figura 15. Algoritmo para determinar los tratamientos que cumplen con parámetros de calidad	46
Figura 16. Aplicación de algoritmos	75
Figura 17. Pasabocas fritos a las condiciones del mejor tratamiento de fritura	78

LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Gráfica 1. Consumo del plátano como materia prima en la industria colombiana	.20
Gráfica 2. Representación lineal de la ecuación de Monod por método lineaweaver	47
Gráfica 3. Representación esquemática de la relación tipo Arrhenius.....	49
Gráfica 4. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de fritura	.....50
Gráfica 5. Comportamiento del valor de L^* a temperaturas diferentes	.....51
Gráfica 6. Comportamiento del valor de L^* a diferentes relaciones aceite producto	52
Gráfica 7. Comportamiento del valor de L^* a diferentes grosores de la tajada	.....52
Gráfica 8. Comportamiento del factor (a^*) a diferentes temperaturas.....	55
Gráfica 9. Comportamiento del valor de a^* a diferentes relaciones producto – aceite	.....55
Gráfica 10. Comportamiento del valor de (a^*) a diferentes grosores	.....56
Gráfica 11. Comportamiento del valor de b^* a diferentes temperaturas	.....58
Gráfica 12. Comportamiento del valor de b^* a distintas relaciones producto – aceite	.....59
Gráfica 13. Comportamiento del valor de b^* a diferentes grosores.....	59
Gráfica 14. Comportamiento del ΔE	.....61
Gráfica 15. Comportamiento de la textura de los pasabocas de plátano.....	64
Gráfica 16. Comportamiento de la textura respecto a diferentes temperaturas	.....65
Gráfica 17. Comportamiento de la textura respecto a las relaciones producto- aceite	.....65
Gráfica 18. Comportamiento de la textura respecto a los grosores de la tajada...	66
Gráfica 19. Contenido de humedad a 140°C vs tiempo de fritura	.....68
Gráfica 20. Contenido de humedad a 160°C vs tiempo de fritura.....	69
Gráfica 21. Contenido de humedad a 180°C vs tiempo de fritura	.....69

Gráfica 22. Cinética del contenido de grasa a 140°C Vs tiempo de fritura.....	72
Gráfica 23. Cinética del contenido de grasa a 160°C Vs tiempo de fritura.....	72
Gráfica 24. Cinética del contenido de grasa a180°C vs tiempo de fritura	73
Gráfica 25. Influencia de la temperatura de fritura en la difusividad efectiva	78

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Determinación del índice de madurez de la materia prima de estudio. .	91
Anexo B. Diagrama de proceso de la fritura de pasabocas de plátano verde variedad dominico hartón.....	92
Anexo C. Características fisicoquímicas del aceite utilizado para el proceso de fritura (Aceite Frytol)	93
Anexo D. Cálculo de la relación.....	94
Anexo E. Determinación de la cantidad de solvente y producto para extracción de grasa por método soxhlet	95
Anexo F. Matriz general de los tratamientos.....	96
Anexo G. Pruebas de múltiples rangos. Método: 95% Tukey HSD	98
Anexo H. Gráficas de medias para las variables que influyen en el color. Método: Tukey HSD. 95%	102

INTRODUCCIÓN

El cultivo de plátano, en el mercado nacional e internacional, es consumido en fresco o para ser utilizado principalmente en la preparación de alimentos procesados para humanos y alimentos concentrados para animales (RESTREPO TORO, 2002).

En el proceso de mercadeo de plátano, ha predominado la comercialización en fresco, por racimos en su mayoría y en un bajo porcentaje, en manos y en frutos; imponiéndose la venta por kilo. Con los cambios en los hábitos socio-culturales de la población se ha incrementado el consumo de comidas rápidas donde el plátano transformado ha tenido una demanda creciente, siendo de gran aceptación (ARCILA P, 2002).

En Colombia, en relación a la actividad agroindustrial, se registran significativos índices de crecimiento en los últimos años; aunque con una incidencia muy pequeña como consumidora de materia prima (Menos del 1% del plátano producido es materia prima industrial); esta industria, que se concentra en pocas empresas, ubicadas especialmente en Bogotá y el Valle del Cauca, se dedica principalmente a la producción de snacks; producción que representa un nicho de mercado muy interesante para algunos productores, pues las empresas procesadoras estiman una proyección dinámica de este segmento de alimentos. (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2006)

Alrededor del 20% de los alimentos consumidos son fritos, compuestos principalmente por chips (hojuelas) de papa, de plátano, productos de maíz y productos de piel de cerdo. Esta industria presenta un elevado crecimiento en el mercado mundial de productos tipo snack (pasabocas), expandidos, extruidos y fritos como los chips (hojuelas) (ORTIZ, 2001).

Dentro de los procesos de transformación de materia prima, la fritura por inmersión, es un método que requiere de tiempos pequeños de preparación y confiere al alimento un aroma y textura agradables, el tratamiento térmico destruye microorganismos, y disminuye la humedad relativa del producto (CUESTA & SÁNCHEZ MUNIZ, 1988), el cual es llevado entre 150 a 200°C utilizando aceite comestible; aplicando una transferencia directa de calor del aceite caliente al alimento en estado fresco, ocurriendo una transferencia de masa (movimiento del aceite dentro del producto y del agua del producto hacia el aceite).

La fritura como un método de preparación de alimentos, a partir de la mitad del siglo XX, se lo empieza a describir como un proceso en el cual ocurren complicados cambios físicos y químicos (STIER, 2004); surgiendo la necesidad de

conocer, controlar, para más adelante optimizar las distintas variables que influyen en el proceso de fritura, con el fin de implementar su aplicación en la industria de alimentos; por ello, es importante responder a esta necesidad mediante la Caracterización del proceso de fritura de pasabocas de plátano, teniendo en cuenta que este, proporciona a los alimentos, unas características únicas de aroma y textura que no es posible conseguir con otras técnicas de procesado de alimentos (MOREIRA R. G., 2001) (SAGUY I. S., 2003).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el proceso de fritura del plátano variedad dominico hartón (*Musa AABsimmonds*)

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las características de textura y color del producto frito.
- Estimar la pérdida de humedad y la ganancia de grasa durante el proceso.
- Evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de freído para el control del proceso.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTO TEORICO DEL PLÁTANO

2.1.1 Plátano. El plátano es una planta monocotiledónea y pertenece al orden Escitaminales, a la familia Musaceae, subfamilia Musoideae y al género Musa. El cultivo del plátano abarca rangos extremos de tolerancia desde condiciones del bosque húmedo templado (12-18 °C; 1000-1200 mm de precipitación), hasta condiciones del bosque muy seco tropical (más de 24°C; 4000-8000 mm de Precipitación). Es cultivado en África, India, Centro y Sur América, con condiciones de temperatura ideal entre 25- 30°C, la mínima no debe ser inferior a los 15°C, ni la máxima superior a 35°C. La composición química del plátano caracterizada por la presencia de almidones y escasez de ácidos, lo hace un producto extremadamente sensible al oxígeno al igual que al calor.(ROBLES DÁVILA, 2007)

Figura 1. Cultivo de plátano



Fuente: Esta investigación

Cuadro 1. Valor nutricional del plátano fresco por 100g de sustancia comestible

Agua (g)		58,8
Proteínas (g)		1,1
Lípidos (g)		0,2
Carbohidratos	Total(g)	22,2
	Fibra(g)	0,6
Vitaminas	A(UI)	190
	B1(mg)	0,05
	B2(mg)	0,06
	B6(mg)	0,32
	Acido nicotínico(mg)	0,6
	Acido pantoténico(mg)	0,2
	C(mg)	10
Otros componentes orgánicos	Acido málico (mg)	500
	Acido cítrico (mg)	150
	Acido oxálico (mg)	6,4
Sales minerales	Sodio (mg)	1
	Potasio (mg)	420
	Calcio (mg)	8
	Magnesio (mg)	31
	Manganeso (mg)	0,64
	Hierro (mg)	0,7
	Cobre (mg)	0,2
	Fósforo (mg)	28
	Azufre (mg)	12
	Cloro (mg)	125
Calorías (Kcal)		85

Fuente: FAO 2002

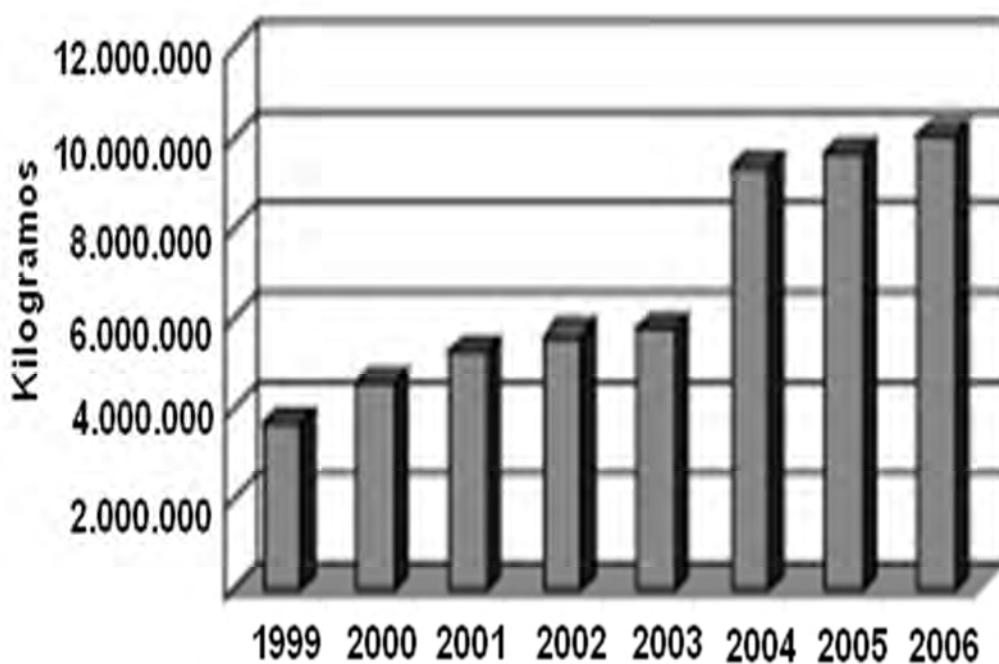
2.1.2 Situación del cultivo de plátano. A escala mundial en cuanto a área cultivada se estima en 5'029.997 hectáreas y 30'471.870 ton/anuales, de las cuales el 73% están concentradas en países del África, un 3% en el Asia y el 25% en América Latina y Caribe (7'008.530 ton), en donde Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela son los principales productores (FONDO REGIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. FONTAGRO. 2002).

En Colombia, del área cultivada, un 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado (café, cacao, yuca, frutales), y el restante 13%, como monocultivo tecnificado; en la última década, cerca del 4% de la producción nacional de plátano, se dirige al mercado de exportación, el restante para el consumo interno

en fresco y menos del 1%, como materia prima para la agroindustria nacional (harinas, pasabocas en forma de chips o snacks)(RESTREPO TORO, 2002)

Según la Encuesta Anual Manufacturera, el consumo de plátano como materia prima para la industria colombiana alcanzó un volumen de 10.026 toneladas en el 2006, con un crecimiento sostenido de 14.8% desde 1999 cuando se registró un consumo de 3.680 toneladas, lo que evidencia un importante crecimiento de la industria procesadora de plátano, aunque en niveles que aún no superan el 0.5% de la producción nacional (Ver gráfica 1)(MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2006)

Gráfica 1. Consumo del plátano como materia prima en la industria colombiana



Fuente: DANE. EAM

El departamento de Nariño tiene un área sembrada de 10.488 Ha de plátano, de las cuales 6.551 Ha están en edad productiva, con una producción de 77.724 ton y un rendimiento de 11.86 ton/Ha, demostrando gran dinámica en el sector productivo para el departamento y un potencial para el desarrollo agroindustrial del mismo (Ver tabla2)(CCI, 2009).

Cuadro 2. Área, producción, rendimiento y unidades productoras del cultivo de plátano por departamento. Año 2009

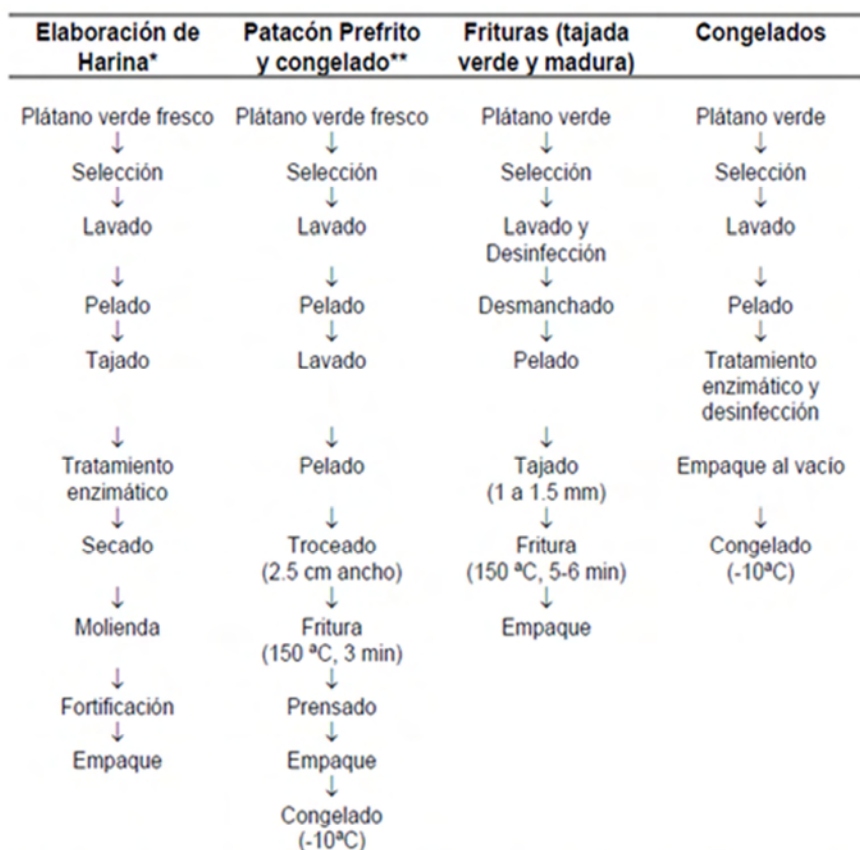
Departamento	Estado del cultivo	Área sembrada (Ha)	Área en edad productiva (Ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/Ha)	Unidades productoras 2009	Unidades productoras 2008
Total nacional	Total	348.510	280.996	2.247.487	8,00	56.453	54.584
	Asociado	214.816	171.911	1.052.271	6,12		
	Solo	133.693	109.085	1.195.147	10,96		
1.Antioquia	Total	42.754	40.582	402.790	9,93	3.638	3.862
	Asociado	16.052	14.759	96.025	6.51		
	Solo	26.701	25.823	306.765	11.88		
2.Bolívar	Total	7.197	2.065	15.015	7,27	958	1.410
	Asociado	1.566	850	7.039	8.28		
	Solo	5.632	1.215	7.977	6.57		
3.Boyacá	Total	5.218	3.202	17.012	5,31	2.617	1.619
	Asociado	4.282	2.524	12.414	4.92		
	Solo	935	678	4.597	6.78		
4.Caldas	Total	19.535	16.303	112.684	6,91	1.233	1.422
	Asociado	15.541	13.157	74.601	5,67		
	Solo	3.994	3.146	38.083	12,11		
5.Casanare	Total	4.589	3.706	50.175	13,54	2.366	2.107
	Asociado	368	125	1.551	12,42		
	Solo	4.221	3.581	48.624	13,58		
11.Nariño	Total	10.458	6.551	77.724	11,86	1.933	2.145
	Asociado	9.415	5.830	71.250	12,22		
	Solo	1.042	721	6.474	8,98		

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria 2009. CCI - MADR

2.1.3 Industrialización del plátano. En Colombia, el plátano se consume principalmente en estado fresco, predominando el consumo en estado verde (sancocho, frijoles y patacón) y maduro (tajadas fritas y cocido); sin embargo, el consumo del plátano procesado en diferentes presentaciones principalmente como snacks, precocidos y féculas, se ha incrementado en los últimos años, existiendo otras posibilidades para ser transformado (tortas, mermeladas, bocadillo, deshidratados) (ARCILA P, 2002).

A continuación se describen los procesos más comunes de transformación del producto en el mercado nacional e internacional; en la figura 2, se observa los distintos procesos de industrialización del plátano, de los cuales, la fritura de plátano verde, es el proceso en el que se hace énfasis

Figura 2. Procesos en la industrialización del plátano



Fuente: http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli/20agronegocio_del_plátano.pdf

2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROCESO DE FRITURA

2.2.1 Definición. La fritura, es un sistema integrado y "multifuncional" que permite de manera simultánea, la deshidratación, cocción, el texturizar, impregnar y desarrollar sabores; basándose en la fuerte diferencia entre la temperatura de ebullición del agua en el producto y la temperatura del baño de aceite(VITRAC & et. al., 2000). También, se identifican dos tipos principales de freído, que se diferencian en la cantidad de aceite utilizado para el proceso; entre ellos están:

- *Freído superficial o de contacto:* Consiste en freír en un recipiente con bajo nivel de aceite, donde parte del alimento queda fuera del baño de aceite; la parte sumergida se fría y la externa se cuece por efecto del vapor interno generado al calentarse.(LECKER & CARRASCO PANCORBO, 1998)

- *Freído por inmersión o profundo:* Involucra la transferencia de calor del aceite que rodea el producto al interior del mismo. En adición a la transferencia de calor se lleva a cabo una transferencia de masa. Esta es una característica del movimiento del aceite dentro del producto y el movimiento del agua en forma de vapor del producto hacia el aceite. (PINTHUS & et. al., 1995).

Teniendo en cuenta, lo anterior, es importante resaltar que el freído por inmersión o profundo, en la caracterización del proceso de fritura de pasabocas de plátano, se utiliza como medio de estudio; puesto que permite obtener un producto final con características propias de los snacks o pasabocas, los cuales al ser sumergidos en la gran cantidad de aceite, desarrollan una textura crocante, debido a la costra continua y uniforme que se forma en todo el pasabocas.

2.2.2 Fritura profunda. Utiliza un alto volumen de aceite o grasa, cuya temperatura inicial se establece significativamente por encima del punto de ebullición del agua libre(SAHIN & GÜLÜM, 2009); la diferencia de temperatura entre el alimento y el aceite desencadena un proceso simultáneo de transferencia de calor y de materia, siendo el primero, transferido del aceite al alimento, y útil para evaporar el agua del alimento, pasando al aceite como burbujas de vapor, y para penetrar el aceite en el mismo. Simultáneamente, varían sus propiedades físicas, con los cambios de temperatura y de humedad que suceden en el interior del mismo (MOREIRA R. G., 2001)(SAHIN & SASTRY, 1999 b)(VITRAC & et. al., 2000). Durante el proceso de fritura tienen lugar multitud de cambios físicos, químicos y nutricionales en el alimento. Estos cambios dependen, entre otros factores, de la humedad y del tipo de alimento, de la calidad de aceite utilizado y de la temperatura del proceso, así como del tiempo de residencia del producto en el aceite caliente (MOREIRA R. G., 2001)(DOBARGANES & et. al., 2000).

2.2.2.1 Transferencia de calor en la fritura. La transferencia de calor durante el proceso de fritura se realiza por dos mecanismos: convección y conducción, por convección entre el aceite y la superficie del alimento, y por conducción dentro del alimento. La transferencia de energía (el calor) es el motor impulsor de la rápida evolución de la materia durante la fritura, dependiendo de la naturaleza del producto, la relación del equilibrio líquido/vapor específico. Los coeficientes de transferencia de calor son de 250 a 300 W/m²K antes que la humedad por evaporación de la superficie empiece, pero subsecuentemente se incrementa a 800-1000 W/m²K debido a la violenta turbulencia causada por el vapor que escapa del alimento. Sin embargo, si la relación de evaporación es muy muy alta una pequeña película de vapor de agua permanece alrededor del alimento y reduce el coeficiente de transferencia de calor (PINTHUS & et. al., 1995).

El impacto del calentamiento está relacionado con la temperatura final alcanzada y la velocidad de calentamiento; lo principal del freído profundo es la transferencia de calor a una tasa muy alta creada por el uso de una gran fuente de calor de gran volumen de aceite en comparación con el del producto. Debido a la densidad y la capacidad calorífica del aceite, las tasas de transferencia de calor involucradas son, en particular, más altas que las encontradas con otros vectores de calor, como los gaseosos (por ejemplo, aire caliente, vapor sobrecalentado), además, cuando el producto está rodeado de aceite (producto sumergido), el calor se transmite casi de manera uniforme en el mismo.

2.2.2.2 Transferencia de materia durante el proceso de fritura. Caracterizada principalmente por el movimiento del agua en forma de vapor, del alimento al aceite, y por el movimiento del aceite al alimento. Esta transferencia de materia es impulsada por la transferencia de calor del aceite al alimento (AGUILERA, 1997). Como resultado de las dos transferencias, el producto presenta dos regiones características: la costra o superficie deshidratada, donde se producen los principales cambios, y el interior del alimento, donde la temperatura no sobrepasa la temperatura de ebullición del agua (DOBARGANES & et. al., 2000).

- **Pérdida de humedad durante el proceso de fritura.** Según Farkas y otros (1996), la cinética de transferencia de agua durante el proceso de fritura es muy similar a la producida en cualquier proceso de deshidratación, y se divide en tres etapas; aunque también se habla de una cuarta etapa (no es alcanzada por la mayoría de los alimentos):

-Etapa 1. *Calentamiento del alimento:* Durante la etapa inicial de calentamiento, la superficie de un alimento se sumerge en el aceite caliente; el modo de transferencia de calor entre el aceite y el alimento ocurre por convección natural sin vaporización del agua desde la superficie del alimento; y termina cuando la

superficie del mismo alcanza la temperatura de ebullición del agua superficial. Esta etapa se identifica con la de velocidad de secado creciente.

- Etapa 2. *Velocidad de secado constante*: En esta etapa, la vaporización del agua comienza desde la superficie del alimento. El modo de transferencia de calor cambia de convección natural a convección forzada debido a la turbulencia en el aceite que rodea el alimento. En esta etapa empieza a formarse la costra en la superficie del producto y se identifica con la de velocidad de secado constante. Se trata de una etapa muy breve o incluso inapreciable al evaporarse el agua superficial muy rápidamente.

- Etapa 3. *Velocidad decreciente*: En esta etapa del proceso de freído, sale más humedad del alimento, y la temperatura de su parte central interna aumenta hasta el punto de ebullición del agua, mientras que la temperatura de la corteza se aproxima a la del aceite caliente, reduciéndose la humedad a niveles muy bajos. Dado que la costra sigue aumentando de espesor, y por su baja conductividad térmica, disminuye la transferencia de calor y, por ende, la salida de agua del interior del alimento. (FARKAS & SINGH, 1996a)(AGUILERA, 1997).

- Etapa 4. *Punto final de burbuja*: Se produce cuando aparentemente ya no se aprecia la salida de burbujas de vapor del alimento. Esto puede ser ocasionado por la reducción de la transferencia de calor en la interface costra e interior del alimento, o por la eliminación total del agua del alimento.(SHARMA & et. al., 2003)

Finalmente, el agua contenida en los alimentos sometidos al proceso de fritura, tiene un papel protagonista durante el proceso, puesto que al evaporarse crea una interface entre el aceite y el alimento; retira la energía térmica del aceite caliente que envuelve el alimento bajando la temperatura y evitando que este se queme o carbonice al sobrecalentarse la costra; siendo la principal responsable de la cocción de la parte interna del alimento que alcanza los 103°C aproximadamente(BLUMENTHAL, 1991)(SAGUY I. &., 1995).

- **Ganancia de aceite durante el proceso de fritura.** La cinética de ganancia de aceite, inicia cuando la temperatura del producto se incrementa; sin embargo, y mientras el vapor esté presente en los poros del alimento, impedirá el paso del aceite al interior del mismo, y sólo cuando disminuya la salida del vapor, el aceite podrá transferirse al alimento, lo que también dependerá de las propiedades de permeabilidad de la costra que empieza a formarse en la superficie del alimento; su contenido aumenta con el tiempo de fritura, y se concentra principalmente en el área cercana a esta zona (superficie del alimento) (MOREIRA & PALAU, 1995)(COSTA & OLIVEIRA, 1999). El hecho de que el vapor salga de los huecos para que la grasa entre más tarde, es la razón por la cual la absorción de grasa esté determinada en gran medida por el contenido de humedad del alimento (MEHTA & SWINBUM, 2001); del mismo modo, los sectores del producto con

más pérdida de humedad también muestran la absorción de más grasa; algunos incluso sostienen que el volumen total de la grasa será igual al volumen total de agua extraída (balance de masa) (PINTHUS & et. al., 1993).

Una prueba indirecta de que el aumento de la evaporación resulta en más daño a la corteza está dada por la observación de que la porosidad y la absorción de grasa están inversamente relacionadas con el contenido de humedad en varias etapas del desarrollo durante la fritura(MOREIRA & PALAU, 1995); dado que el aceite sólo puede penetrar en donde el agua se ha evaporado, la penetración de aceite sólo se produce donde la temperatura ha sido suficientemente alta, es decir, en la corteza, hay pruebas abundantes de que el aceite difícilmente penetra en el núcleo de cocción y que la microestructura de la corteza es el principal factor determinante de la absorción de aceite (PINTHUS & et. al., 1995).

La mayoría de los autores coinciden en pensar que lo esencial del aceite penetra en el material al final de la fritura(VITRAC & et. al., 2000)(MOREIRA & PALAU, 1995)(FARKAS & SINGH, 1996a)(YAMSAENGSUNG & MOREIRA, 2002 b), durante la fase de enfriamiento, bajo la acción de una depresión (ver figura 3b).Así, cuando el alimento es retirado del aceite caliente y empieza el enfriamiento, la presión del vapor disminuye y produce un efecto de succión, ayudando a que el aceite depositado en la superficie del mismo pueda atravesar la costra (VITRAC & et. al., 2000); es decir, el contenido de aceite se ve afectado, por la temperatura a la que se enfríe el producto, por lo cual, se sugiere evitar un cambio brusco de la misma durante la etapa de su enfriamiento, con el fin de que este no absorba mucha cantidad de aceite (YAMSAENGSUNG & MOREIRA, 2002 b)

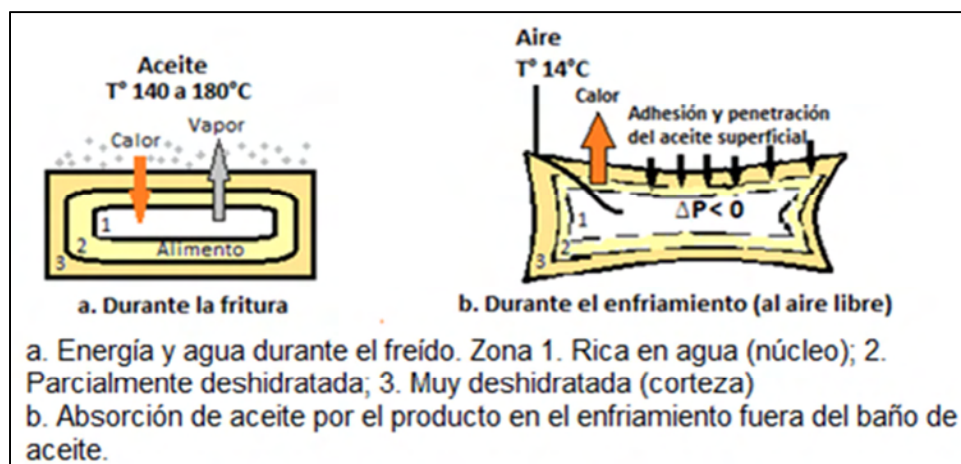
Los principales parámetros que influyen en la pérdida de agua y la absorción de aceite son la temperatura y el tiempo de fritura (DOBARGANES & et. al., 2000)(MOREIRA R. G., 2001); el transporte de agua y aceite es más intenso cuanto mayor es la temperatura del aceite y menor el espesor de la muestra(KROKIDA & et. al., 2000); puesto que si el espesor del producto es más grueso, disminuye el contenido de aceite en el interior del mismo; por ejemplo, si el alimento se procesa en láminas, aquellas más gruesas presentan una menor área específica, reduciéndose el área relativa disponible para perder el agua; el camino interno que esta debe recorrer es más largo y se requiere mayor calor para evaporarla (COSTA & OLIVEIRA, 1999); sin embargo, varios autores, observaron que el contenido de aceite no estaba directamente relacionado con la temperatura de fritura, sino con la humedad residual del alimento(GAMBLE & RICE, 1987).al igual que se demostró que la mayor retención de aceite en el producto, tiene lugar cuando la mayor cantidad de agua ha salido del mismo; teniendo en cuenta que la pérdida de agua en este, no es uniforme; primero, ocurre en la superficie y, según transcurre el calentamiento, gradualmente va afectando al interior del mismo (MOREIRA & PALAU, 1995). Por ello, la absorción

de aceite tiene lugar en mayor grado a nivel superficial (COSTA & OLIVEIRA, 1999).

Sumado a lo anterior, otros parámetros a considerar, son la forma del alimento y la relación entre el tamaño del producto y la superficie expuesta al medio circundante. Así, Baumann y Escher (1995) exponen que al incrementar la temperatura, la velocidad de deshidratación aumenta, reduciéndose el tiempo de fritura; en cambio, al aumentar el espesor del producto se incrementa el tiempo.

La representación esquemática de los fenómenos de transferencia de materia y energía, el cambio de fase, las deformaciones durante la fritura y durante el enfriamiento del producto fuera del baño de aceite, se muestran en la figura 3; donde, la zona 1, poco impregnada de aceite, tiene un contenido de agua cercano al contenido inicial, mientras que la zona 3, la corteza, muy deshidratada, absorbe la mayor parte del aceite durante el enfriamiento, la zona 2 es intermedia, parcialmente deshidratada e impregnada con aceite, la deshidratación impulsa y desarrolla una estructura porosa o alveolar en el material, la cual es responsable de la entrada de aceite en el producto final, sobre todo durante la fase de enfriamiento de la adhesión a la superficie rugosa y la migración capilar hacia el corazón (MOREIRA & et. al., 1999)

Figura 3. Representación esquemática de los principios físicos de la fritura Profunda a escala de proceso



Fuente: MOREIRA, et. al, 1999

2.3 ACEITE DE FRITURA

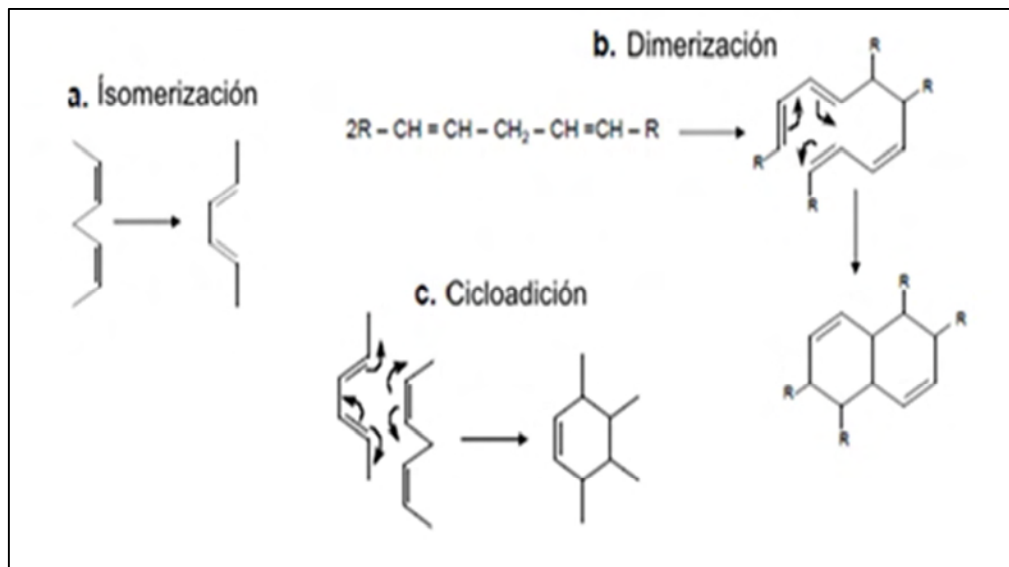
El aceite no es sólo una ayuda a la transformación (transmisor de calor para extraer el vapor), sino también un ingrediente incorporado en el producto final. El tipo o la mezcla de aceites usados, depende de la percepción y aceptabilidad del producto por el consumidor (aroma, textura, sabor, estabilidad del aceite durante el almacenamiento). En lo referente a su influencia sobre la velocidad de absorción del mismo, se encontró que la absorción de aceite depende en mayor grado de la calidad del aceite que del tipo de aceite utilizado en el proceso.(DOBARGANES & et. al., 2000).

Entre las grasas refinadas empleadas para este fin están: aceites de girasol, de palma, de cacahuate, oliva, de soya, hidrogenado de coco y grasas animales (manteca); ofreciendo propiedades especiales, como sabor y suave sensación en la boca, que mejora la palatabilidad del alimento.(VARELA, 1988)

Las reacciones físico-químicas en el baño de aceite a altas temperaturas, son inducidas por la evaporación del agua del producto y la oxigenación del baño, y dependen de la temperatura del mismo, del oxígeno disuelto, de los ciclos de utilización de los aceites y de las interacciones entre el aceite y los componentes de la matriz del alimento (agua, etc.); estos factores contribuyen significativamente a los cambios en las propiedades físicas y químicas del aceite durante la fritura (DOBARGANES & et. al., 2000), las reacciones de oxidación de los aceites (Figura 4) a partir de los 82°C, producen compuestos de peróxido y polímeros; la hidrólisis (Figura 5), a su vez, rompe los enlaces entre el glicerol y ácidos grasos, promoviendo así la aparición de mono-y di-acilgliceroles, de ácidos grasos libres y glicerol (BELITZ & GROSH, 2004).

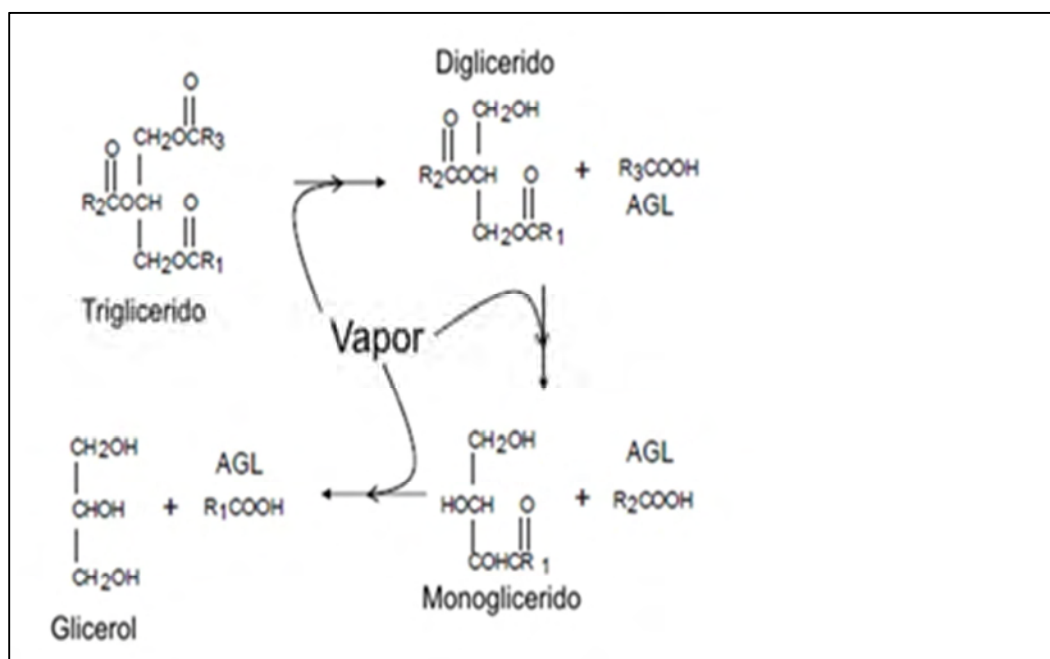
Todas estas sustancias son inmediatamente transformadas en compuestos primarios y secundarios responsables de los sabores, el desarrollo de las características de color y aumentar la palatabilidad de los productos fritos (PERKINS, 1996)(POKORNY, 1999)(SAGUY I. S., 2003), del mismo modo, estos compuestos reducen el punto de humo del aceite; producen la formación de compuestos polares (de ácidos grasos insaturados) no saludables (TAKEOKA & FULL, 1997)(SAGUY I. S., 2003)

Figura 4. Polimerización de aceite durante el proceso de freído



Fuente: BELITZ, et. al., 2004

Figura 5. Mecanismo de hidrólisis de los aceites



Fuente: PERKINS, 1996

2.4 ATRIBUTOS DE CALIDAD PARA LOS PRODUCTOS FRITOS

Entre algunos parámetros de calidad para los alimentos procesados mediante la fritura, se encuentran los siguientes:

2.4.1 Textura. Se define como una propiedad sensorial de los alimentos detectada por el tacto, la vista y el oído (CARPENTER & LYON, 2002). La textura que se obtiene tras el proceso de fritura es consecuencia de los cambios producidos en la composición de los alimentos, principalmente en las proteínas y carbohidratos, que se modifican por efecto del calor transferido al alimento y por la eliminación del agua del mismo. Todo ello origina la formación de una costra que proporciona el atributo característico de crujiente al alimento (FELLOWS, 1998) (PEDRESCHI & MOYANO, 2005 a). Adicionalmente a la formación de la costra o corteza, en el alimento se pueden apreciar otras modificaciones mecánicas, tales como contracción, expansión, desarrollo de porosidad, ruptura de la matriz sólida, etc. Cuando el alimento es rico en almidón la costra presenta poros más pequeños que en el caso de alimentos que no contienen almidón, y ésta, por tener los poros más grandes, presenta menos resistencia al paso de gases, sea vapor o aire (VITRAC & et. al., 2000).

Una de las pruebas utilizadas para este fin, es la prueba de penetración o punción, el método más utilizado para evaluar la textura de alimentos sólidos, así como uno de los más sencillos. En esta, la penetración en el alimento se lleva a cabo hasta una profundidad tal que cause un flujo del material. Por lo general se mide la fuerza máxima de penetración, como una medida de firmeza o consistencia del producto, y a partir de las curvas de fuerza – distancia, pueden calcularse otros parámetros.

2.4.2 Color. Puede definirse en el sentido físico, como la distribución de energía de una luz reflejada o transmitida por un alimento en particular. Esta energía está implícita en el espectro electromagnético continuo. La medición del color, se realiza mediante la implementación de distintos sistemas, entre los cuales se encuentra el sistema CIELab, donde el parámetro a^* representa tonalidades que van del verde (valores negativos) al rojo (positivos). El parámetro b^* representa tonos azules para los valores negativos y amarillos para los positivos. Para ambos parámetros, el cero equivale al gris. A través de la coordenada L^* se representa la luminosidad: 100 es el blanco, 50 el gris y 0 el negro (CABRERA & PÉREZ, 1997) finalmente, se debe calcular la diferencia total del color utilizando la ecuación 1.

$$\sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Ecuación 1

En las frituras, el color característico es el dorado, siendo el atributo significativo de su calidad y un factor determinante en la aceptación, por parte de los consumidores (KROKIDA & et. al., 2001)(SAHIN S. , 2000); el pardeamiento no enzimático de muchos vegetales (Reacción de Maillard) a temperaturas elevadas, es el resultado de la reacción entre azúcares reductores y aminoácidos; la reacción de Maillard, crea sabores y oscurece el color de los alimentos; se ve afectado por las condiciones de proceso, principalmente tiempo, temperatura, pérdida de agua (desecamiento), alcalinidad (primeros estadios), concentración adecuada de los reactivos y tipo de aceite, así como por las características del producto, como son el tamaño, la variedad, entre otras (FELLOWS, 1998). En este tipo de procesamiento, si la temperatura es inferior a 100°C, las reacciones de Maillard tienen lugar, pero en forma poco significativa, puesto que los alimentos se cuecen pero no alcanzan el sabor y color apropiado.

2.5 MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL PROCESO DE FRITURA

El modelamiento matemático es una herramienta básica para el diseño y optimización de los procesos industriales, puesto que permite realizar la estimación de su desarrollo con anticipación, lo que conllevará a controlar la calidad y mejorar los procesos productivos(HIMMELBLAU, 1992)(BANGA & SINHG, 1994)(BANGA & et. al., 2003)(CUETO & GARCÍA, 2007)

Para modelar un proceso tan complejo como la fritura, es importante tener en cuenta que los principales fenómenos que en esta se producen, son la remoción parcial o completa del agua y la absorción de aceite en los poros del producto; por lo cual su predicción es muy importante para modelar y controlar el proceso de fritura(COSTA & OLIVEIRA, 1999)

Entre los modelos utilizados en el proceso de fritura, se encuentran los empíricos (Cinética de absorción de aceite), los difusionales, los que consideran la estructura, y los modelos de frente de recesión. En seguida, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos:

2.5.1 Modelos empíricos. Son modelos matemáticos que se basan en la observación, usando como punto de partida los datos experimentales con los cuales se construye el modelo que posteriormente describirá el proceso real; no pretenden describir cómo tiene lugar el proceso, sino que son útiles con fines de diseño, especialmente cuando los problemas a resolver son excesivamente complicados (MULET, 1994) como es el caso de la fritura.

- *Absorción de aceite.* Existe concordancia en que la absorción de aceite se realiza, principalmente, en la etapa de enfriamiento después que se ha retirado la

muestra del aceite. La modelización de la absorción de aceite, la mayoría de autores lo realizan conjuntamente con la modelización de la pérdida de agua, para lo cual utilizan métodos similares. Es decir aplican métodos empíricos; (MOYANO & PEDRESCHI, 2006) consideraron dos modelos empíricos, presentados a partir de las ecuaciones de la cinética de primer orden, ecuaciones 2 y 3

$$Y = Y_e [1 - e^{(-k_Y t)}] \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

Y: Contenido de aceite (Kg/Kg bs) al tiempo t

Ye: Contenido de aceite (Kg/Kg bs) en el equilibrio o máximo contenido

Ky: Constante de relación de absorción de aceite (min^{-1})

$$Y = \frac{Y_{eq} K_Y t}{1 + k_Y t} \text{Ecuación 3}$$

Los resultados mostraron que existe un buen ajuste entre los valores experimentales y los simulados para el contenido de aceite. Sin embargo para Moyano y Pedreschi, la ecuación 3 ajusta mejor los datos para el máximo contenido de aceite. (MOYANO & PEDRESCHI, 2006)

El modelo de Monod describe cinéticas de ganancia y su representación gráfica es muy similar a la forma que presentan los datos experimentales de ganancia de aceite (NIELSEN J. , 2004); se lo conoce como la hipérbola rectangular y se describe con la ecuación 4:

$$Y = \frac{At}{B+t} \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

Y: Cantidad de aceite (kg kg⁻¹ bs) al tiempo t (s)

B: Tiempo en el que se obtiene la mitad del máximo de cantidad de aceite acumulado en el tiempo de fritura.

A: Máxima cantidad de aceite acumulado

2.5.2 Modelos difusionales. Son fáciles de formular y normalmente proporcionan resultados razonables; su principal inconveniente recae frecuentemente en las suposiciones que se tienen en cuenta para poder resolverlo. (MULET, 1994).

A partir de la ley de Fick, y realizando un balance microscópico de materia en un volumen de control, se obtiene la ecuación de gobierno del problema de transferencia de materia (SIMAL & ROSSELLÓ, 1998b). La ecuación 5, muestra la ecuación de gobierno para una geometría de lámina infinita, donde para describir la evolución de la humedad en un punto del sólido, W [kg kg⁻¹ bs]:

$$\frac{\partial w_p(x,t)}{\partial t} = Deff \left(\frac{\partial^2 w_p(x,t)}{\partial x^2} \right) \text{ Ecuación 5}$$

Dónde:

Wp : Humedad (g/g bs)

$Deff$: Difusividad efectiva (m/s)

X : Distancia desde el plano de simetría en la dirección de la geometría de lámina infinita (m)

t : Tiempo (s)

Para la resolución analítica de estas ecuaciones diferenciales hay que hacer una serie de simplificaciones (SIMAL & ROSSELLÓ, 1998b):

- El contenido inicial de humedad es uniforme en todo el sólido
- El coeficiente de difusividad efectiva es constante y uniforme en todo el sólido (sólido isotrópico).

Además si no se considera ni la resistencia externa a la transferencia de materia ni la contracción, deberán tenerse en cuenta estas dos condiciones adicionales.

- La superficie del sólido está en equilibrio con la humedad del aire en el momento considerado, es decir, se considera despreciable la resistencia externa a la transferencia de materia. Por lo tanto, será la resistencia interna la que controle el proceso.
- La forma y las dimensiones del sólido permanecen constantes durante el periodo de tiempo considerado.

La ecuación 5 se puede resolver analíticamente utilizando varios métodos, entre los cuales se encuentra el de separación de variables (CRANK, 1975), la suma de mínimos cuadrados, cuando se considera que el volumen y el coeficiente de difusión de la muestra permanecen constantes durante el proceso, que la humedad crítica de la muestra es su humedad inicial, que la humedad en la superficie es la que corresponde al equilibrio con el medio, y se expresa la concentración de humedad de forma adimensional (Ψ).

$$\varphi = \frac{w - w_e}{w_o - w_e} \quad \text{Ecuación 6}$$

Integrando para el volumen considerado se obtienen valores promedio en el producto.

$$\varphi = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left[- (2n + 1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4l^2} t \right] \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

W: Humedad al tiempo t (g/g bs)

t: Tiempo (s)

Wo: Humedad crítica que se considera igual a la humedad inicial

We: Humedad en el equilibrio

l: Semiespesor de la lámina (m)

Math y Budzaki, para describir el mecanismo de transporte del agua determinaron el coeficiente de difusividad, para lo cual consideraron que el espesor de una lámina de alimento es significativamente menor que el diámetro de la misma, y utilizaron la resolución de la ley de Fick para una geometría de lámina infinita (Ec. 7) considerando D_{eff} constante. Dichos autores supusieron que la humedad en el equilibrio es cero y consideraron un solo término del desarrollo de la serie obteniendo (MATH, 2004)(BUDZAKI, 2005): Ecuación 8

$$\frac{w}{w_o} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 D_{eff}}{4l^2} t \right) \text{Ecuación 8}$$

El efecto de la temperatura en el coeficiente de difusión, es descrito utilizando una relación tipo Arrhenius:

$$D_{eff} = D_o e^{\left(- \frac{E_a}{RT} \right)} \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

E_a : Energía de activación (KJ/mol)

R: Constante universal de los gases (8,314 J/°K mol)

T: Temperatura absoluta (°K)

D_o : Factor pre exponencial m^2/s

Este modelo difusional, se aplica para describir el proceso de fritura de tortillas de harina de maíz, considerando que el espesor de la tortilla es pequeño comparado con las otras dimensiones (geometría de lámina infinita), por lo tanto, el modelo de transferencia de calor y de materia deriva en ecuaciones unidimensionales como la ecuación 7. Además supusieron que la humedad y temperatura inicial

eran uniformes en todo el alimento; el encogimiento despreciable; las difusividades térmica y de humedad permanecen constantes; y que el aceite penetraba en el alimento espontáneamente durante el enfriamiento(MOREIRA & PALAU, 1995).

2.5.3 Modelos de frente de recesión. También llamado frontera móvil, se considera la existencia de una interface móvil agua-vapor de agua. En este tipo de modelos, por la formación de la corteza en el alimento frito, se considera que la fritura debe ser estudiada de manera similar a otros procesos tales como la congelación de agua, fusión del hielo, fusión de metales, donde se observa la existencia de una interface móvil durante el proceso (SINGH, 2000)

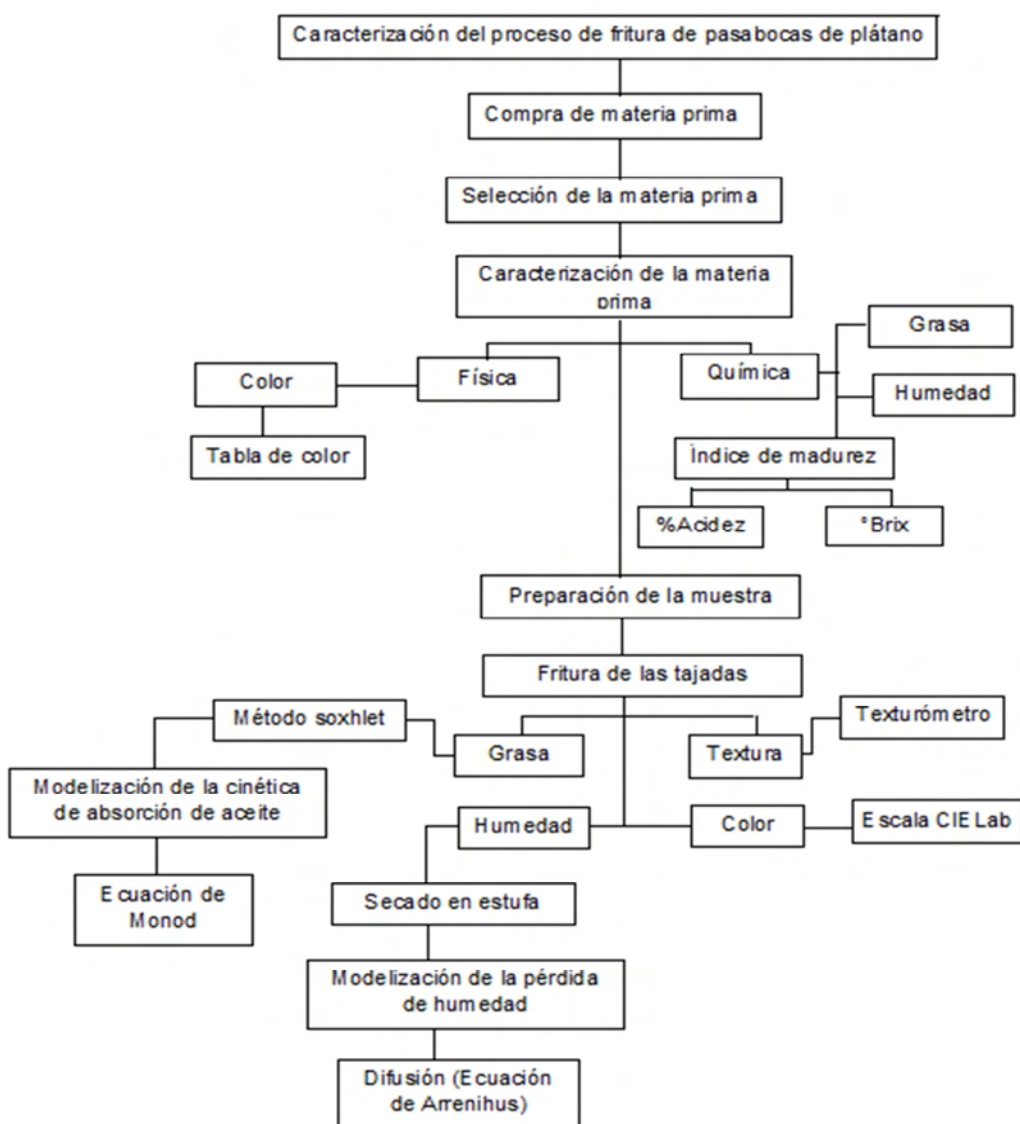
2.4.4 Modelos que consideran la estructura. Para tomar en cuenta los cambios físicos del alimento, Yamasaensung y Moreira correlacionaron el cambio estructural con los fenómenos de transferencia de masa y calor que ocurre en el proceso de fritura de chips de tortilla y en el de enfriamiento después de la fritura. Para ello consideraron que el material es higroscópico y consta de seis fases: agua líquida y ligada, vapor, aire, aceite y la matriz sólida(YAMSAENGSUNG & MOREIRA, 2002 a). Desarrollaron un modelo de medio poroso multifase, considerando la variación del volumen del producto, basándose en las ecuaciones de transporte de masa y de energía para dicho medio. Las relaciones parten de las definiciones de porosidad y de saturación, y que durante la fritura de un medio poroso, el transporte de materia ocurre por la difusión del vapor y del aire, por capilaridad del líquido (agua y aceite), por diferencia de presión de líquido, vapor y aire.

Teniendo en cuenta lo dicho por Moreira en las tortillas de maíz se considera importante modelar la pérdida de humedad de la tajada, para lo cual, se aplica el modelamiento de difusión, descrito en primera instancia por la ecuación 8 y complementado con la ecuación 9 (ecuación de Arrhenius); sumado a esto, para la modelización de la absorción de aceite en las tajadas fritas de plátano, y teniendo en cuenta las ecuaciones de los referentes bibliográficos (ecuación 4), se decide utilizar la hipérbola rectangular o también conocido como el modelo de Monod que describe perfectamente la cinética de ganancia de aceite, atendiendo al buen ajuste que presentan los datos según Jibaja en el modelamiento de absorción de aceite en tajadas de tomate de árbol, que representa el mejor comportamiento en el proceso; el cual también muestra un excelente ajuste para las tajadas de plátano.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos, fue indispensable basarse en la literatura, y así establecer los protocolos necesarios en el desarrollo de la investigación.

Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología de la investigación



Fuente: Esta investigación

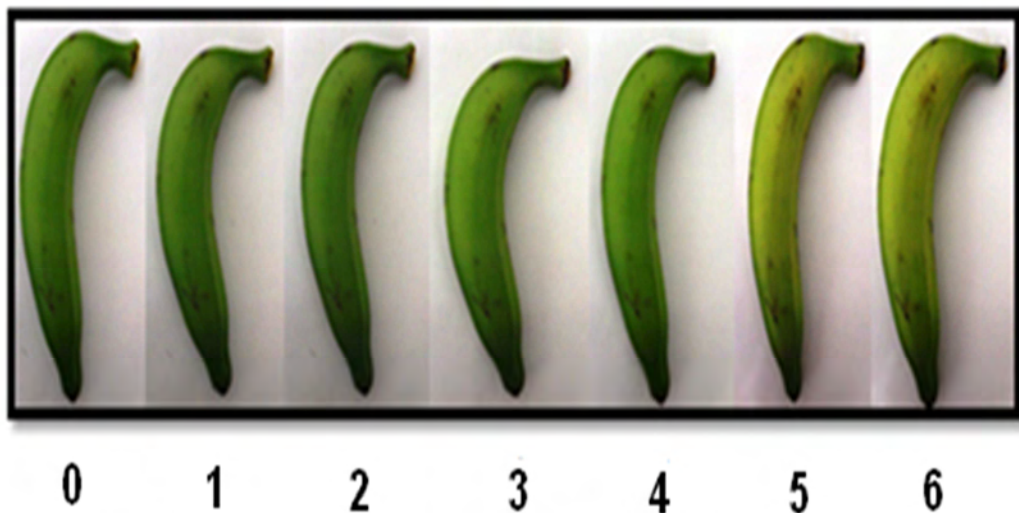
3.1 OBTENCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA DE ESTUDIO.

Se recibe semanalmente en la plaza de mercado municipal “El Potrerillo”, un racimo de plátano variedad Dominico hartón de 6 kilos aproximadamente (6 manos correspondiente a 60 dedos o unidades), siendo suministrado por la Corporación Agroecológica de Nariño Sembradores CORPOASEM, del Municipio de Consacá; una vez obtenida la materia prima, se recepcionó en la Planta Piloto de la Universidad de Nariño, para ser lavada y desinfectada según concentraciones establecidas para alimentos con cáscara (Solución: 10 litros de agua y 50 ppm de hipoclorito de sodio, sumergidos durante 5 minutos).

3.2. ÍNDICE DE MADUREZ

3.2.1 Cualitativo. Para determinarlo se tuvo en cuenta la tabla de color de siete estados de madurez establecida en esta investigación (Figura 7); iniciando en cero, que representa el plátano completamente verde hasta seis que simboliza el estado pintón del mismo (NTC 1190. Definiciones); fueron escogidos los plátanos que presentaban los primeros cuatro estados de madurez (colores similares a los de la tabla de color)

Figura 7. Tabla de color del plátano Dominico Hartón



Fuente: Esta investigación

3.2.2. Cuantitativa. A los plátanos seleccionados, que se encuentran en estado verde (Estado de madurez de interés para esta investigación), se les calculó el índice de madurez mediante acidez titulable (Figura 8) y la lectura de grados Brix (Ver Anexo 1); el refractómetro utilizado para tal fin fue el refractómetro manual Marca ATAGO de escala 0 – 32°Brix; teniendo como punto máximo un índice de madurez de 27.

Figura 8. Determinación del porcentaje de acidez por titulación ácido - base



Fuente: Esta investigación

Mediante la ecuación 10, se determina el porcentaje de acidez:

Ecuación 10

Dónde:

N: Normalidad

meq: miliequivalentes (Peso molecular _{ac. maléico} = 67.045 g/mol/1000)

W: Peso de la muestra (8,33 g.).

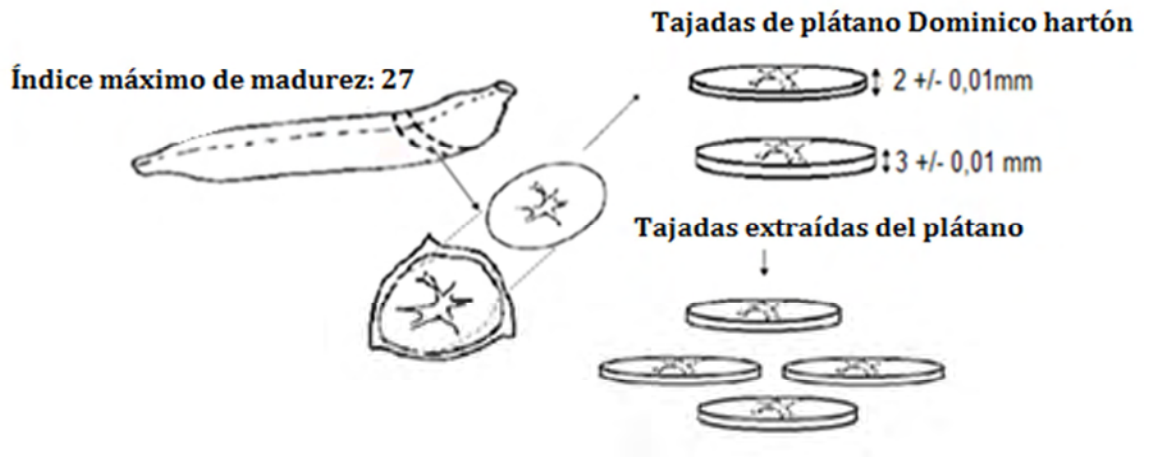
El índice de madurez es determinado con la ecuación 11

Ecuación 11

3.3 OBTENCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA PULPA DE PLÁTANO.

Para adecuar la materia prima de estudio, se procedió a pelar aproximada y manualmente 100 gramos de plátano por cada dos (46,5 gramos de producto) y cuatro frituras (23,25 gramos de producto) (Relación producto / aceite 1/80 y 0,5/80 respectivamente) con cuchillos de acero inoxidable, eliminando los extremos del producto (Aproximadamente 1cm de cada lado), con el fin de preparar la pulpa para un posterior tajeado (Grosor 2mm y 3mm); tajadas, que fueron formadas en dirección opuesta al pedúnculo (Figura 9).

Figura 9. Formación de las tajadas de plátano Dominico Hartón



Fuente: Esta Investigación

3.4 PROCESO DE FRITURA

Teniendo en cuenta el diseño experimental del proceso, las tajadas de plátano variedad dominico hartón (Relación 1: 23,25 gramos de producto y Relación 2: 46,5 gramos de producto) (Anexo 2), fueron freídas en discontinuo o batch, utilizando el montaje y materiales de la figura 10.

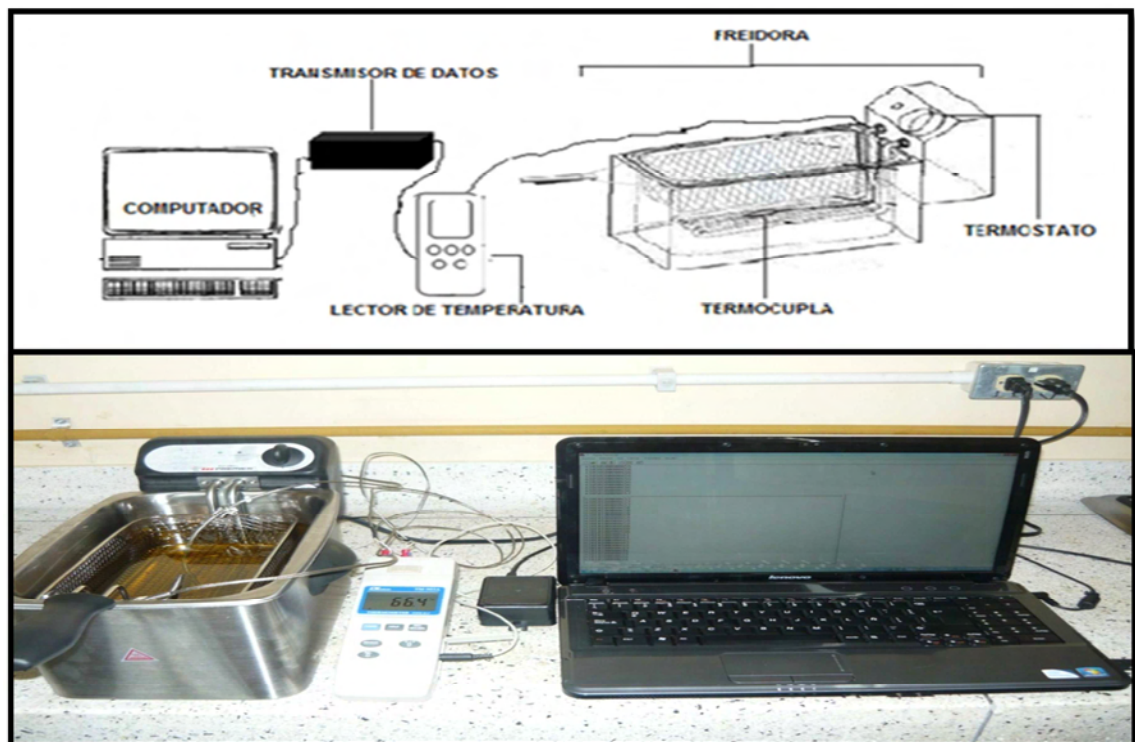
3.4.1 Medio calefactor (Aceite). Para llevar a cabo el proceso, por cada tratamiento, se usan 4 litros de aceite 100% vegetal industrial, cero colesterol, el cual presenta un punto de humo de 230°C, sin formación de gomas para mejor mantenimiento del equipo, ni alteración del sabor, olor y color de los alimentos, significando excelente calidad y alto rendimiento; como también otras características fisicoquímicas adecuadas para aceite tipo industrial, según lo estipulado por la NTC 3272 (Anexo 3).

3.4.2 Freidora. El equipo freidor usado en la experiencia fue de marca PREMIER, Modelo ED – 2891, con un termostato como controlador de temperatura, una capacidad de 4 litros y resistencia eléctrica sumergida en el baño de aceite (calentamiento directo) (Figura 10).

3.4.3 Factores Experimentales. En el proceso se manipularon cuatro variables para desarrollar la experiencia; un grosor de tajadas de plátano de 2 y 3 mm, dos relaciones de producto - aceite de 1/80 y 0,5/80 (Anexo 4); cuatro tiempos de 60s, 120s, 180s y 240s y temperaturas de 140°C, 160°C y 180°C.

3.4.4 Equipos de Apoyo. Para un mayor control del proceso, fue necesario la implementación de otros equipos como una termocupla tipo k con bulbo de 3mm de diámetro, un lector de temperatura para cada segundo con el fin de monitorear el comportamiento de la temperatura a lo largo del tiempo de fritura, con un trasmisor de datos, leídos mediante el programa Hyperterminal y conectados a un computador.

Figura 10. Esquema del montaje del proceso de fritura.



Fuente: Esta Investigación

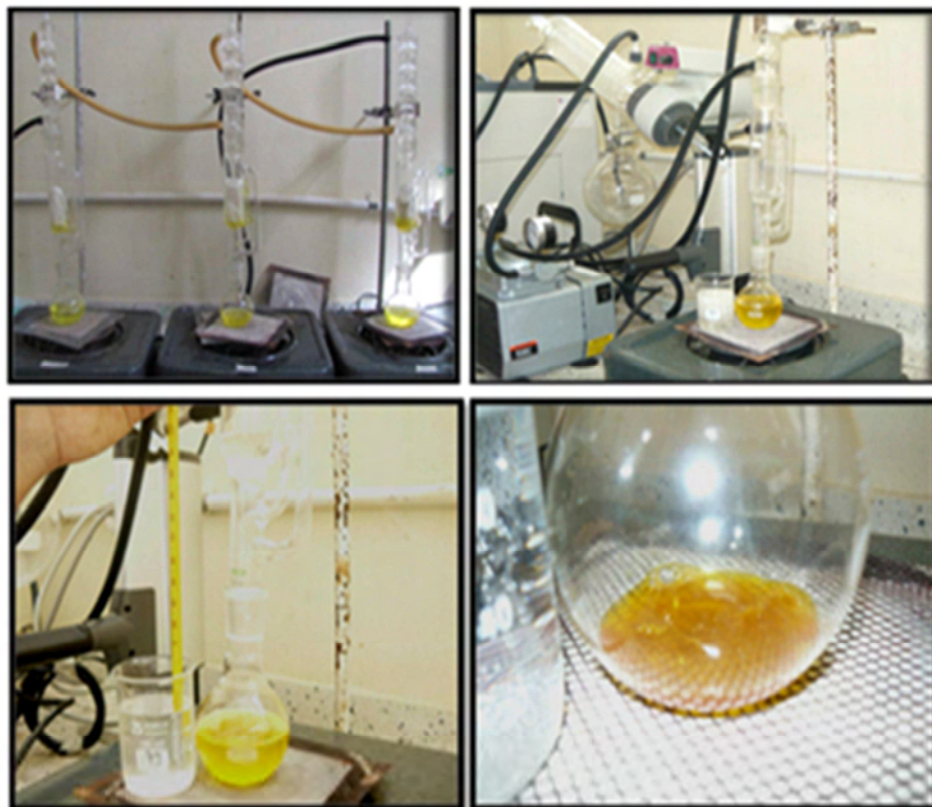
3.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LOS PASABOCAS DE PLÁTANO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (Musa AAB Simmonds)

3.5.1 Método soxhlet para extracción de grasa. Para llevar a cabo la extracción de grasa (Figura 12), se hace necesario el cálculo de la cantidad de muestra adecuada para un volumen de 100 ml de hexano, capacidad máxima del montaje, (Anexo 5)

En este método el disolvente orgánico (Hexano), se calienta hasta 63°C, con el fin de que este se volatilice y condense goteando sobre la muestra, la cual queda sumergida en el disolvente. Posteriormente es sifoneado al balón de calentamiento para empezar de nuevo el proceso y recircule durante un tiempo de 6 horas. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso (NIELSEN S. , 2003); para ello, se utiliza la ecuación 12.

— Ecuación 12

Figura 11. Extracción de la grasa por método soxhlet en los pasabocas fritos



Fuente: Esta Investigación

3.5.2 Método de secado por estufa para determinar el contenido de humedad. Se basa en la pérdida de peso por evaporación del agua de la muestra térmicamente estable; para ello y teniendo en cuenta el principio operacional del método, se hace necesario pesar aproximadamente 10g de pasabocas fritos de cada uno de los 48 tratamientos de la experiencia (cada tratamiento se realiza por triplicado); las muestras para ser secadas, son ubicadas dentro del horno marca DIES (Diseños electrónicos especiales) modelo TH480 (Figura 12); las cuales pasadas 24 horas y a una temperatura de 105°C, se pesan nueva y progresivamente, hasta lograr un peso constante.

Figura 12. Determinación de la humedad por método de secado en estufa



Fuente: Esta Investigación

Para determinar la cantidad de agua en el producto, se realizan los cálculos mediante la ecuación 13.

— Ecuación 13

3.5.3 Evaluación de textura. Se utiliza el texturómetro marca Shimadzu, modelo EZ test/ CE, con el software Rheo-Meter y capacidad de 500N (Figura 13; se trata de un aparato que mide la textura de forma automática, programable para mover el brazo a diferentes velocidades y distancias, con apoyo en dos puntos y un punzón cilíndrico con base plana y un diámetro de 3mm (Penetración en flexión); se programó el texturómetro para que la sonda bajara a una velocidad de 30mm/min, y penetrara la muestra a una distancia de 3.5 mm. De cada bolsa de muestra se seleccionaron tres tajadas de plátano frito; obteniéndose los valores de fuerza máxima ejercida, expresados en Newtons.

Figura 13. Determinación de textura por fractura en flexión



Fuente: Esta Investigación

3.5.4 Evaluación de color: La determinación del color en forma instrumental se realiza con un colorímetro HunterLab (Figura 14), leyendo con un observador de 10° y con un iluminante D65 (Luz día), obteniendo los factores a, b y L del sistema CIELab, considerado como más fiable para la reproducción real del color de un objeto iluminado por la luz del día. La determinación de las coordenadas se realizó por triplicado para cada tratamiento. Finalmente, se realizó el cálculo de la diferencia total del color (Ecuación 1)

Figura 14. Determinación del color con colorímetro



Fuente: Esta Investigación

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL: Para el desarrollo de la presente investigación, se planteó un Diseño Estadístico Completamente Aleatorizado (DCA) con un arreglo factorial 3x4x2x2. El factor 1 corresponde a la temperatura con tres niveles (140°C, 160°C y 180°C), el factor 2 corresponde al tiempo con cuatro niveles (60s, 120s, 180s y 240s), el factor 3 al grosor del pasabocas con dos niveles (2mm y 3mm) y el factor 4 a la relación producto - aceite con dos niveles (1/80 y 1/160), cuya interacción produjo un total de 48 tratamientos con tres réplicas por tratamiento.

Los factores se codificaron numéricamente de tal manera que 1 representó el valor más bajo y 2 el valor más alto para el factor grosor y la relación aceite – producto; para la temperatura 1 representó el valor más bajo, 2 el valor medio y 3 el valor más alto, y para el tiempo con cuatro niveles, 1, 2,3 y 4 representaron a los 60s, 120s, 180s y 240s respectivamente (Anexo 6).

Cada unidad experimental se constituyó por 23,25g y 46,5g., de las cuales se destinaron 10g a las pruebas de grasa y 10g a las pruebas de humedad, para determinar el color y la textura se destinaron 3 tajadas las cuales sirvieron para las dos pruebas, a partir de las cuales se recolectó la información de las variables. A cada una de las variables, obteniendo resultados favorables, se realizó las pruebas de:

- Homogeneidad de varianzas.
- Normalidad.
- Independencia.

Con los datos experimentales, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) factorial a cuatro vías, asumiendo un $\alpha = 0,05$ para un nivel de confiabilidad de las pruebas del 95%. En los casos en los cuales se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey con el fin de determinar diferencias significativas entre parejas de medias.

3.7 MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA LOS MEJORES TRATAMIENTOS DEL PROCESO DE FRITURA DE PASABOCAS DE PLÁTANO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (MUSA AAB SIMMONDS)

3.7.1 Selección de los tratamientos con contenidos de humedad menores al 4%. En productos fritos, tipo snacks, chips o pasabocas, un importante indicador de calidad es el contenido de humedad, del que dependen otros factores como la grasa, textura, color, entre otros; el que a su vez es determinante en la estabilidad

de las alteraciones microbianas, ya que la pérdida de agua suspende o retarda las actividades metabólicas de los microorganismos causantes de la descomposición del alimento.

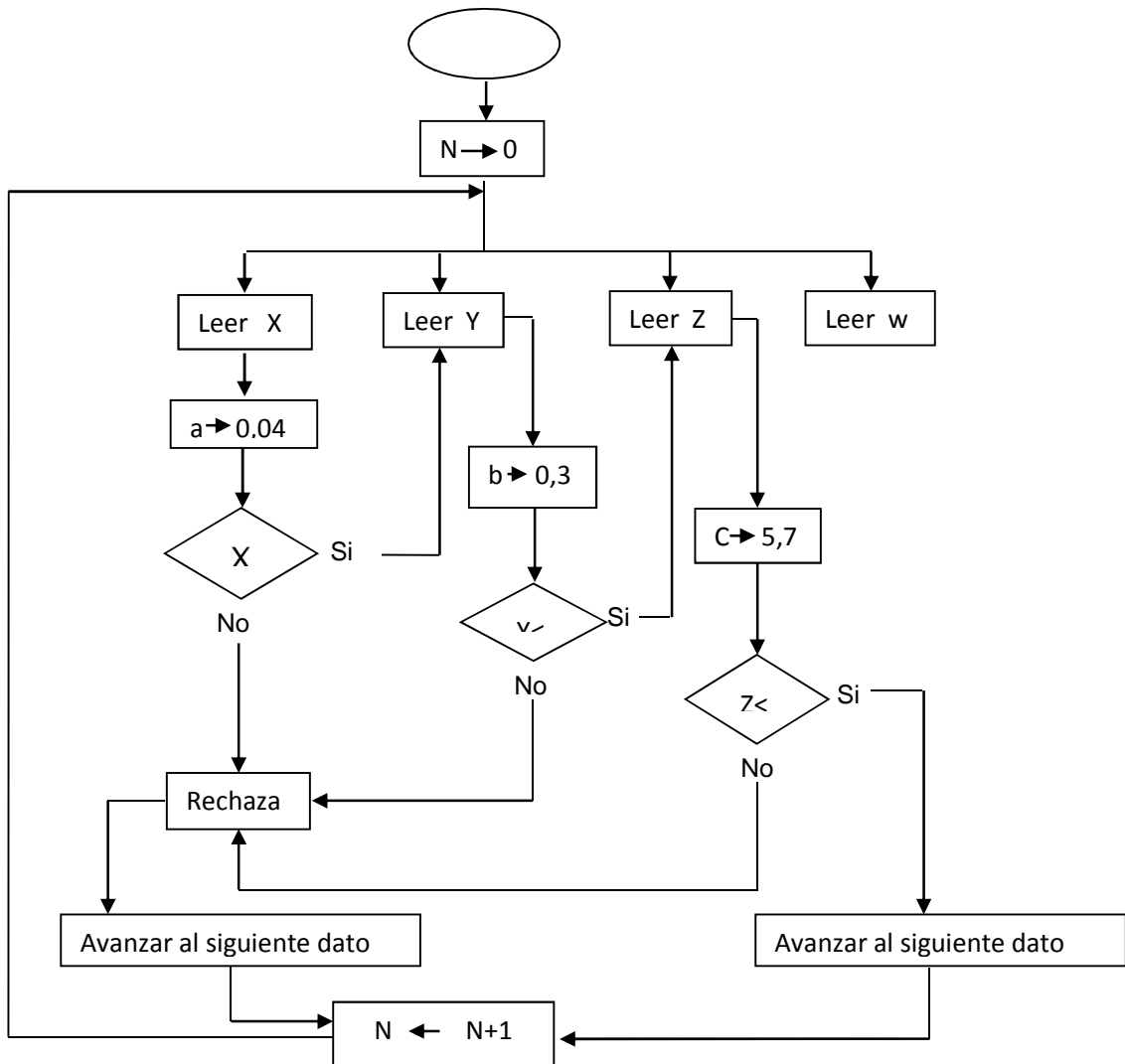
Los parámetros establecidos para un pasabocas frito como los pasabocas de plátano, corresponden al contenido de humedad menor a 4% (0,041g/g bs) y contenido de grasa menor a 30%(0,302g/g bs) (RODRIGUEZ & VITRAC, 1999); cabe anotar que estos porcentajes, únicamente son válidos para alimentos que no hayan recibido tratamientos previos a la fritura, puesto que estos al remover o disminuir parcialmente el contenido inicial del agua generan menor absorción de la grasa.

Teniendo en cuenta que la pérdida de humedad, desencadena los demás fenómenos en el proceso de fritura (absorción de aceite, modificación en la estructura, etc.); para la determinación del mejor tratamiento del proceso de fritura de pasabocas de plátano, en la investigación se determina como el parámetro más relevante y determinante en la calidad de los pasabocas de plátano variedad dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*), tomando como contenidos adecuados los valores de humedad menores a 0,041g/g bs.

Por otra parte, y según estudios realizados a chips de papa común, plátano verde y maduro tipo comercial, también se tiene que estos deben poseer una textura promedio de 3.45 N, 5.72 N y 4.82 N, respectivamente (LUCAS & et. al., 2011)

3.7.2 Determinación de los tratamientos que cumplen con los parámetros establecidos teóricamente (Humedad, grasa y textura). Una vez se hayan seleccionado los tratamientos con los contenidos de humedad adecuados, posteriormente es necesario eliminar aquellos que no cumplan con las demás cuantificaciones (grasa y textura), para así, más adelante obtener el mejor tratamiento del proceso de fritura de pasabocas de plátano dominico hartón; para ello se hace necesaria la implementación del algoritmo diseñado en esta investigación de acuerdo a las especificaciones requeridas, el cual descarta los tratamientos que no posean las características adecuadas (Figura 15)

Figura 15. Algoritmo para determinar los tratamientos que cumplen con parámetros de calidad



3.7.3 Modelamiento de los tratamientos de fritura de pasabocas de plátano
Dominico Hartón adecuados según el algoritmo. Para escoger el mejor tratamiento se aplica dos modelos matemáticos (Modelo de Monod para grasa y modelo de difusión para humedad), que permiten predecir los datos de manera eficiente, con el fin de optimizar un proceso; de ello, la escogencia del mejor tratamiento se lo hace con base a los valores de energía de activación y difusividad efectiva, puesto que la humedad es la variable que prevalece en la fritura, y un buen ajuste permite garantizar certeza en los resultados obtenidos.

3.7.3.1 Modelo de Monod. Con el fin de predecir los resultados de los tratamientos de fritura, se parte de la ecuación 14 (Ecuación de Monod), para posteriormente linealizarla (ecuación 15) a partir del método de Lineaweaver, y calcular las constantes A y B involucradas en el proceso.

$$y = \frac{At}{B+t} \quad \text{Ecuación 14}$$

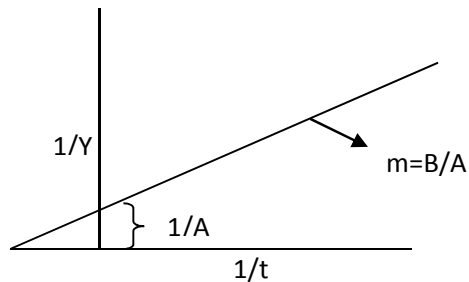
Resumiendo

$$\frac{1}{y} = \frac{B}{A} * \frac{1}{t} + \frac{1}{A} \quad \text{Ecuación 15}$$

De donde:

$$\text{Pendiente: } \frac{B}{A} \quad ; \quad \text{Intercepto: } \frac{1}{A}$$

Gráfica 2. Representación lineal de la ecuación de Monod por método lineaweaver



En seguida, y con ayuda de la gráfica 2 y la hoja de cálculo de Excel, mediante la función, estimación lineal, se determinó el valor de la pendiente (m) y el intercepto (b), obteniendo la igualdad de la forma:

$$y = mX + b \quad \text{Donde: } m = \frac{B}{A} \quad ; \quad b = \frac{1}{A}$$

Conociendo los valores de m y b, se calculan las variables A y B de la ecuación original de Monod (ecuación 14).

Es importante tener en cuenta que para la modelación de un fenómeno tan complejo como la fritura, se realiza generalmente por métodos empíricos debido a la falta de conocimiento al respecto, seleccionándose el modelo de Monod por presentar mejor comportamiento en el modelado de los datos, según algunas investigaciones; el cual permite obtener datos reales que describen de manera acertada el proceso; y resultados confiables para su análisis y reproductibilidad.

3.7.3.2 Modelo de difusión. Conociendo la ecuación de la ley de Fick con un término (ecuación 16):

$$\frac{w-we}{wo-we} = \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{Def f}{4l^2} t \right] \quad \text{Ecuación 16}$$

Se linealiza la ecuación 16, a partir de un arreglo logarítmico, así:

$$\ln w = \ln \frac{8w_o}{\pi^2} - \frac{Def f}{l^2} * \frac{\pi^2}{4} t \quad \text{Ecuación 17}$$

Despejando se obtiene:

$$Def f = \frac{4l^2}{\pi^2 t} \ln \left(\frac{w \pi^2}{w_o 8} \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

Además, y partiendo de la ecuación de Arrhenius para determinar la energía de activación (ecuación 19) y determinar la influencia de la temperatura en el coeficiente de la energía de activación

$$Def f = D_o e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad \text{Ecuación 19}$$

En seguida, para el cálculo de la energía de activación y mediante la linealización de la ecuación 19, se obtiene:

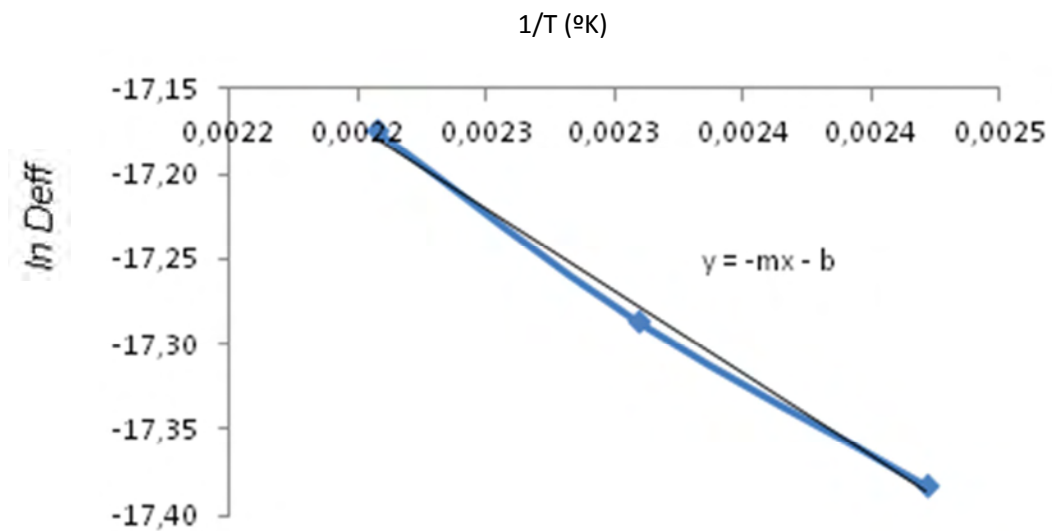
$$\ln Def f = \ln D_o - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

De donde:

Pendiente: $m = \frac{E_a}{R}$; Intercepto: $\ln D_o$

Ahora, se grafica la inversa de la temperatura (°K) Vs $\ln Def f$ (gráfica 3), así:

Gráfica 3. Representación esquemática de la relación tipo Arrhenius



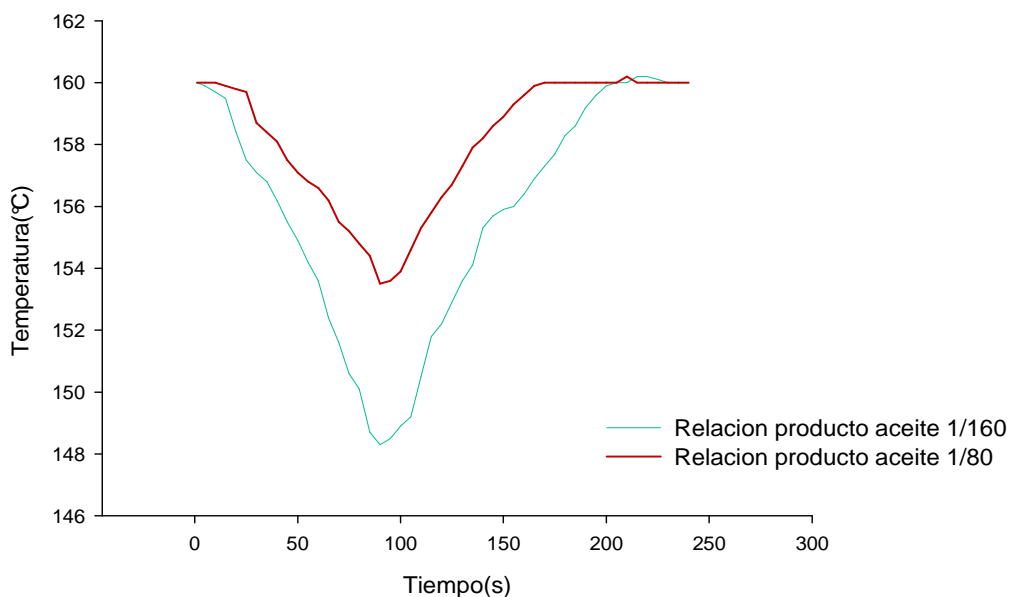
Un gráfico de Arrhenius muestra el logaritmo de las constantes cinéticas ($\ln Deff$ en el eje de las ordenadas en coordenadas cartesianas) graficado con respecto al inverso de la temperatura ($1/T$, en el eje de las abscisas). Los gráficos de Arrhenius son ocasionalmente utilizados para analizar el efecto de la temperatura en las tasas de rapidez de las reacciones químicas. Para un único proceso térmicamente activado de velocidad limitada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA.

La gráfica 4, describe el comportamiento de la temperatura durante el proceso de fritura, observándose una disminución de 7°C aproximadamente para la relación 1 producto- aceite (1/160) y de 12°C para la relación 2 producto - aceite (1/80), presentando comportamiento similar en todas las condiciones de proceso; por lo cual, al medir con exactitud la temperatura segundo a segundo (trasmisor de datos), se logra inferir que su descenso depende en gran medida de la cantidad de producto en el aceite y no de condiciones como temperatura del medio calefactor.

Gráfica 4. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de fritura



Fuente: Esta investigación

4.2 COMPORTAMIENTO DEL COLOR EN LOS PASABOCAS DE PLÁTANO FRITO.

Mediante la escala CIELab, se determinó el comportamiento del color, durante el proceso de fritura de pasabocas de plátano, los valores de las tendencias cromatográficas se describen a continuación.

Factor L*. Representa la luminosidad y el oscurecimiento en los alimentos, la cual posee una escala de 0 a 100, donde 0 es oscuro y 100 blanco o claro.

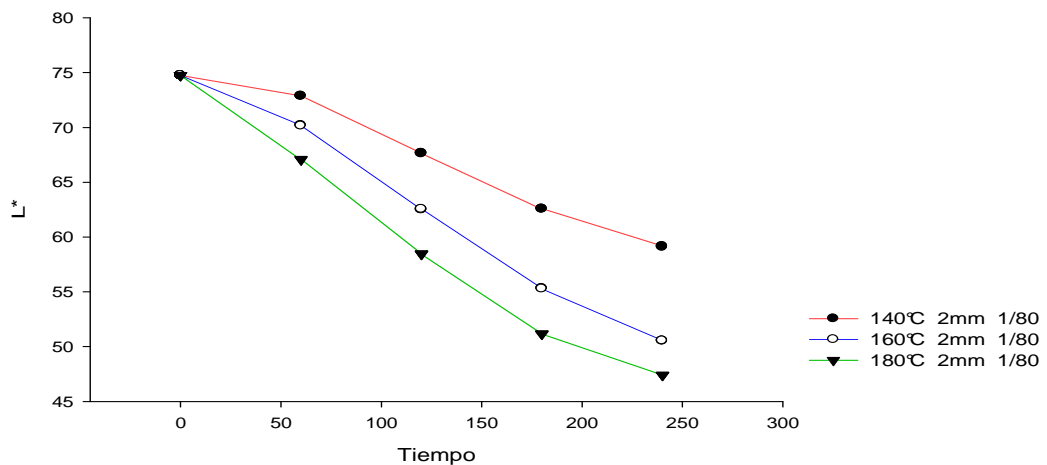
Cuadro 3. Valores promedio del factor de L*

Matriz 1 2MM 1/80				Matriz 2 2MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	74,75	74,75	74,75	0	74,75	74,75	74,75
60	72,87	70,19	67,08	60	69,16	67,41	63,57
120	67,65	62,52	58,46	120	63,23	59,78	56,33
180	62,57	55,31	51,17	180	57,18	51,26	47,75
240	59,13	50,54	47,41	240	54,04	47,12	44,76

Matriz 3 3MM 1/80				Matriz 4 3MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	74,75	74,75	74,75	0	74,75	74,75	74,75
60	72,59	70,99	67,48	60	70,45	68,19	64,23
120	67,77	61,62	57,86	120	63,85	60,12	54,16
180	62,73	54,78	50,76	180	58,94	52,06	48,89
240	60,18	49,97	48,13	240	53,17	50,36	45,02

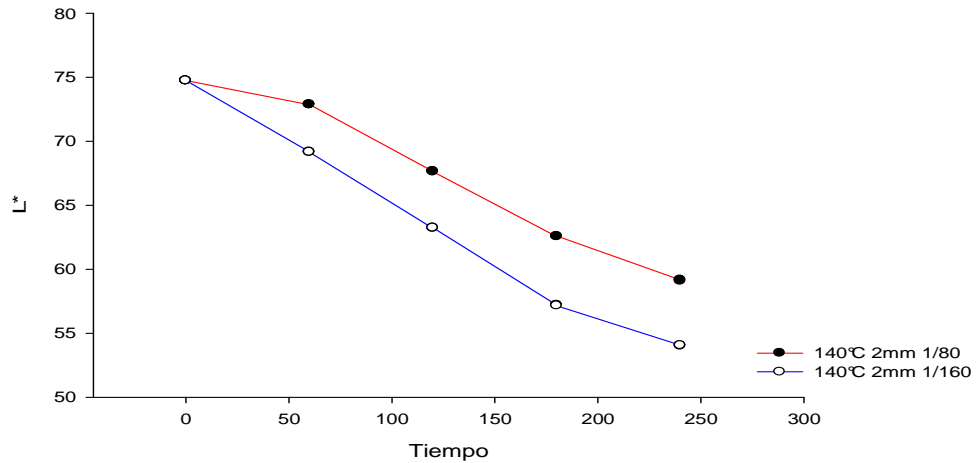
Fuente: Esta investigación

Gráfica 5. Comportamiento del valor de L* a temperaturas diferentes



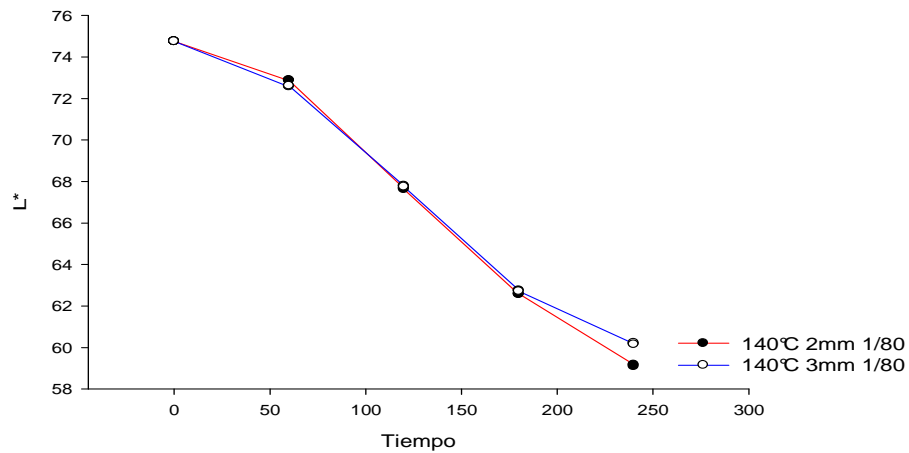
Fuente: Esta investigación

Gráfica 6. Comportamiento del valor de L* a diferentes relaciones aceite producto



Fuente: Esta investigación

Gráfica 7. Comportamiento del valor de L* a diferentes grosores de la tajada



Fuente: Esta investigación

Entre las gráficas 5, 6 y 7, se observa un comportamiento similar del factor L*, puesto que en las tres gráficas, el valor de L* varía de forma descendente a medida que transcurre el tiempo; debido a la absorción de aceite por la tajada; estos resultados también fueron reportados por Ikoko y Kuri en el efecto del pretratamiento osmótico en la reducción de grasa en pasabocas de plátano y por Mera Jibaja en el modelado de la cinética de absorción de grasa durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol. Sumado a esto, de la gráfica 5, se concluye que el valor L* está estrechamente relacionado con la temperatura, puesto que los puntos correspondientes a la menor temperatura

(140°C), describen una pendiente menor que los del tratamiento a 180°C, el cual presenta una pendiente de mayor grado de inclinación; confirmándose mediante el análisis de varianza con un $p \leq 0,05$, que los factores tiempo, temperatura y relación, tienen una influencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%. Por último, de la gráfica 7, se puede inferir que el grosor no muestra influencia significativa ($p \geq 0,05$) en el factor L* (cuadro 4), con un nivel de confianza del 95%. Estos análisis se respaldan con la tabla de múltiples rangos y gráficas de medias, que demuestran que las medias de los factores temperatura, tiempo y relación no presentan grupos homogéneos; a diferencia del grosor, que al tener grupos homogéneos se concluye que las medias de los tratamientos son iguales (Ver anexo 7a para múltiples rangos y 8a para graficas de medias).

Cuadro 4. Análisis de varianza ANOVA para L* Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	1920,57	2	960,285	879650,73	0,0000
B:TIEMPO	6683,62	3	2227,87	2040799,96	0,0000
C:GROSOR	3,81226	1	3,81226	3492,14	0,1272
D:RELACION	387,401	1	387,401	354870,97	0,0000
INTERACCIONES					
AB	133,595	6	22,2658	20396,19	0,0000
AC	1,90726	2	0,953631	873,56	0,0045
AD	25,4582	2	12,7291	11660,26	0,0000
BC	6,99422	3	2,33141	2135,64	0,0097
BD	1,93267	3	0,644223	590,13	0,0000
CD	3,89076	1	3,89076	3564,05	0,0000
ABC	6,47734	6	1,07956	988,91	0,0052
ABD	19,7857	6	3,29761	3020,71	0,0000
ACD	4,27684	2	2,13842	1958,86	0,0000
BCD	2,46432	3	0,82144	752,46	0,0000
ABCD	13,3163	6	2,21938	2033,02	0,0001
RESIDUOS	0,1048	96	0,00109167		
TOTAL (CORREGIDO)	9215,61	143			

Fuente: Esta Investigación

- **Comportamiento del factor a***. La coordenada a* representa la tendencia al rojo cuando es positivo y azul cuando es negativo, los valores promedios experimentales se presentan en la cuadro 5, los cuales son representados esquemáticamente en las gráficas a continuación

Cuadro 5. Valores promedio del factor a*

BLOQUE 1 2MM 1/80			
t(s)	T°C		
	140	160	180
0	4	4	4
60	4,49	5,66	6,18
120	4,58	5,78	6,25
180	4,61	5,92	6,48
240	4,77	5,97	6,66

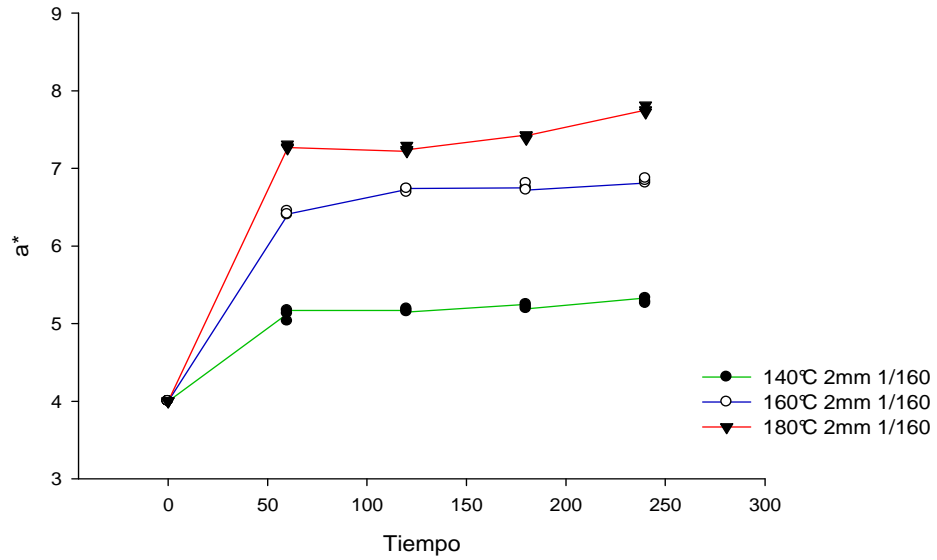
BLOQUE 2 2MM 1/160			
t(s)	T°C		
	140	160	180
0	4	4	4
60	5,11	6,42	7,28
120	5,17	6,72	7,25
180	5,22	6,76	7,41
240	5,29	6,84	7,76

BLOQUE 3 3MM 1/80			
t(s)	T°C		
	140	160	180
0	4	4	4
60	4,44	5,52	5,96
120	4,53	5,67	6,12
180	4,56	5,61	6,37
240	4,69	5,67	6,51

BLOQUE 4 3MM 1/160			
t(s)	T°C		
	140	160	180
0	4	4	4
60	4,96	6,31	6,83
120	4,94	6,58	6,96
180	5,12	6,69	7,12
240	5,23	6,71	7,29

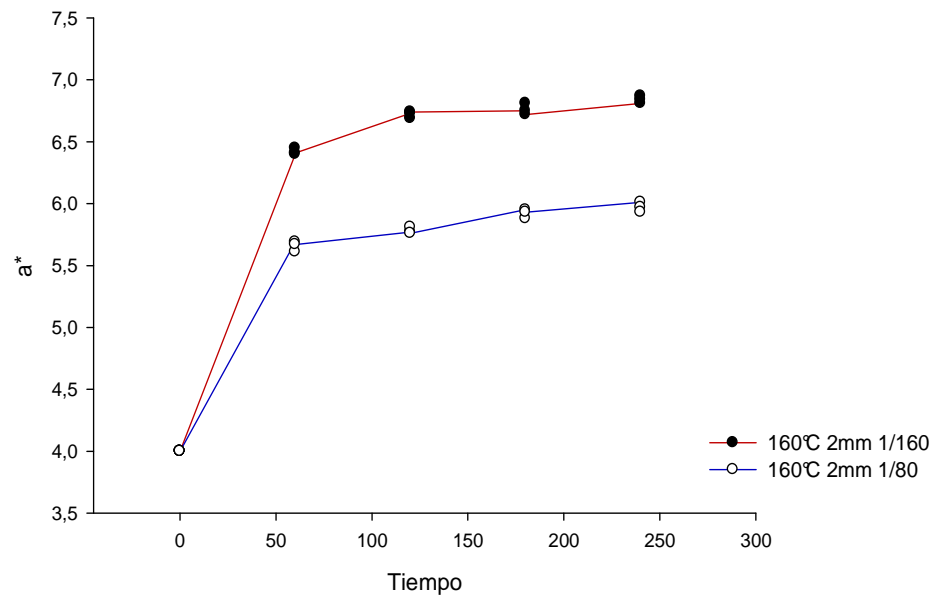
Fuente: Esta investigación

Gráfica 8. Comportamiento del factor (a^*) a diferentes temperaturas



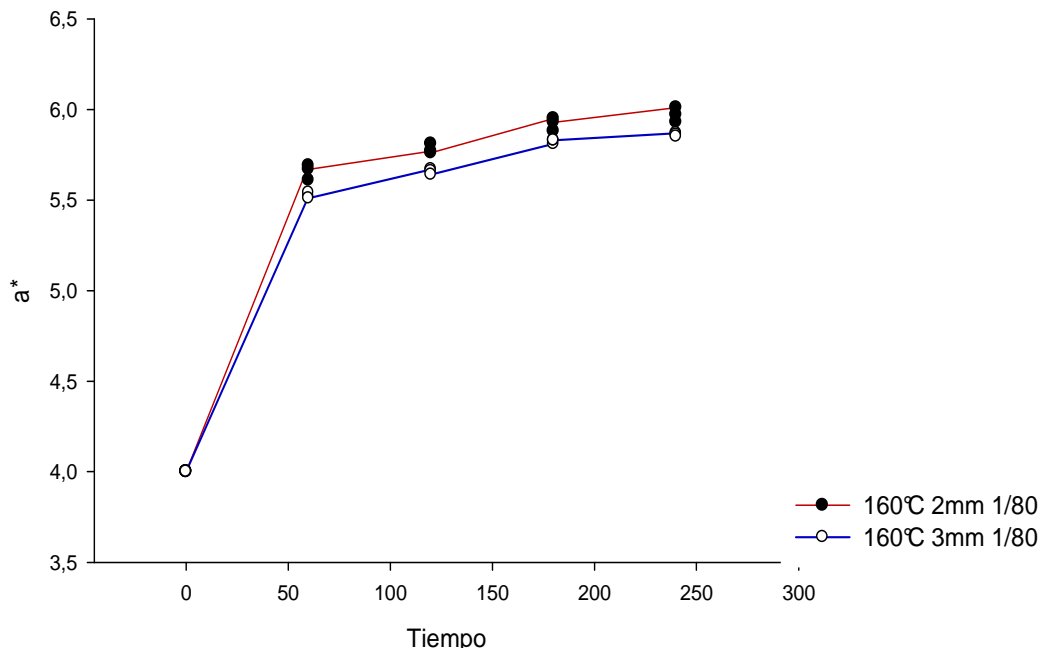
Fuente: Esta investigación

Gráfica 9. Comportamiento del valor de a^* a diferentes relaciones producto – aceite



Fuente: Esta investigación

Gráfica 10. Comportamiento del valor de (a*) a diferentes grosores



Fuente: Esta investigación

La gráfica 8 que relaciona las temperaturas, presenta diferencias en el comportamiento del factor a^* puesto que cuanto mayor es la temperatura de fritura, el valor de a^* se incrementa; de igual forma ocurre con la gráfica 8, ya que a menor cantidad de producto inmerso en el medio calefactor, el valor de (a^*) es mayor en comparación con la relación de mayor producto, caso contrario pasa con el grosor el cual en la gráfica 10, no se observa una diferencia entre ellos.

Este comportamiento es corroborado en el análisis de varianza ANOVA, (cuadro 6), porque con un $p \leq 0,05$, muestra que la temperatura y relación producto/aceite, influyen significativamente en el factor a^* con un nivel de confianza del 95%; sin embargo, para el tiempo y el grosor no hay diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$), demostrando que estos dos factores no influyen en el comportamiento del factor a^* , los resultados del tiempo se plantean en el estudio del efecto de la variedad de plátano sobre la calidad de sus tajadas fritas (Castillo, 2005). Las pruebas de múltiples rangos al igual que las gráficas de medias, respaldan lo dicho anteriormente (ver anexo 7b y 8b respectivamente).

Cuadro 6. Análisis de varianza ANOVA para a*. Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	92,0603	2	46,0302	40515,5	0,0000
B:TIEMPO	2,74661	3	0,915536	805,85	0,3616
C:GROSOR	1,31484	1	1,31484	1157,32	0,2155
D:RELACION	23,4579	1	23,4579	20647,5	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,370554	6	0,061759	54,36	0,0000
AC	0,177226	2	0,0886132	78,00	0,0000
AD	1,23242	2	0,616209	542,38	0,0000
BC	0,0194333	3	0,00647778	5,70	0,0012
BD	0,002	3	0,000666667	0,59	0,6251
CD	0,00966944	1	0,00966944	8,51	0,0044
ABC	0,0346292	6	0,00577153	5,08	0,0001
ABD	0,0776375	6	0,0129396	11,39	0,0000
ACD	0,278876	2	0,139438	122,73	0,0000
BCD	0,004475	3	0,00149167	1,31	0,2747
ABCD	0,0260125	6	0,00433542	3,82	0,0019
RESIDUOS	0,109067	96	0,00113611		
TOTAL (CORREGIDO)	121,922	143			

Fuente: Esta Investigación

- **Comportamiento del factor b***. Los valores experimentales promedio del factor b* se presentan en la cuadro 7, y son representados a continuación.

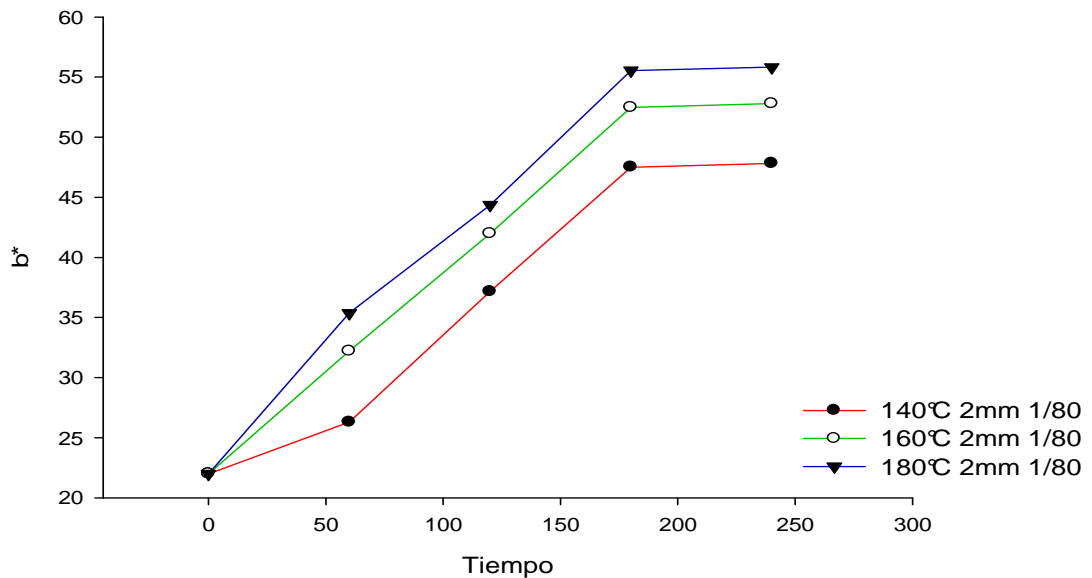
Cuadro 7. Valores promedio del factor b^*

BLOQUE 1 2MM 1/80				BLOQUE 2 2MM 1/160			
T°C				T°C			
t(s)	140	160	180	t(s)	140	160	180
0	22	22	22	0	22	22	22
60	26,31	29,21	32,37	60	28,68	34,38	39,27
120	37,16	37,99	42,36	120	39,16	43,13	45,89
180	47,51	52,48	55,55	180	49,87	55,24	57,56
240	48,82	53,79	56,82	240	49,99	56,12	57,32

BLOQUE 3 3MM 1/80				BLOQUE 4 3MM 1/160			
T°C				T°C			
t(s)	140	160	180	t(s)	140	160	180
0	22	22	22	0	22	22	22
60	25,77	28,18	31,43	60	28,46	34,33	38,62
120	36,86	37,17	41,63	120	38,75	42,99	45,77
180	46,37	51,16	54,18	180	48,56	54,98	56,54
240	47,23	52,31	55,25	240	49,87	55,66	57,36

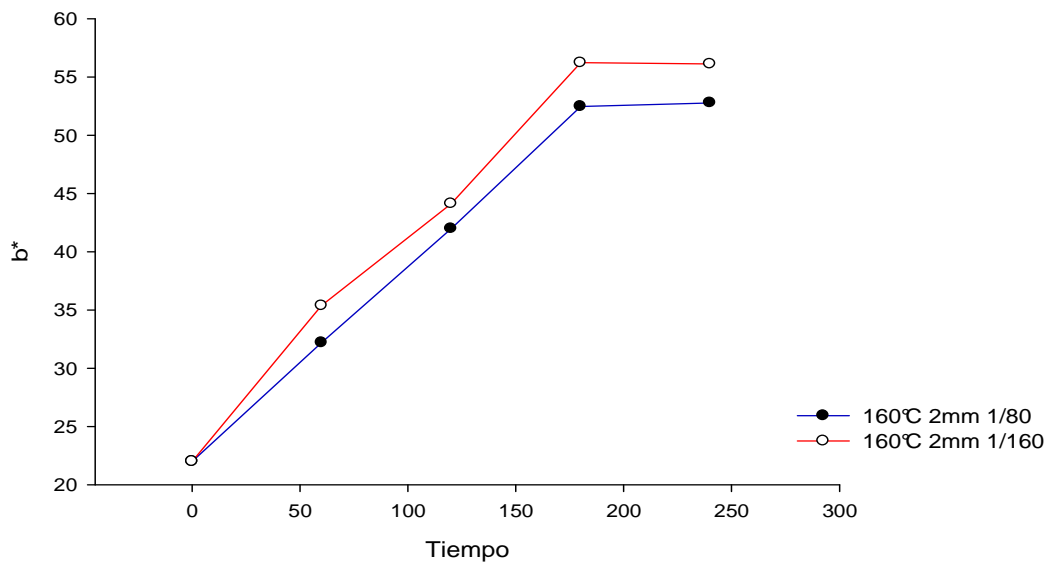
Fuente: Esta investigación

Gráfica 11. Comportamiento del valor de b^* a diferentes temperaturas



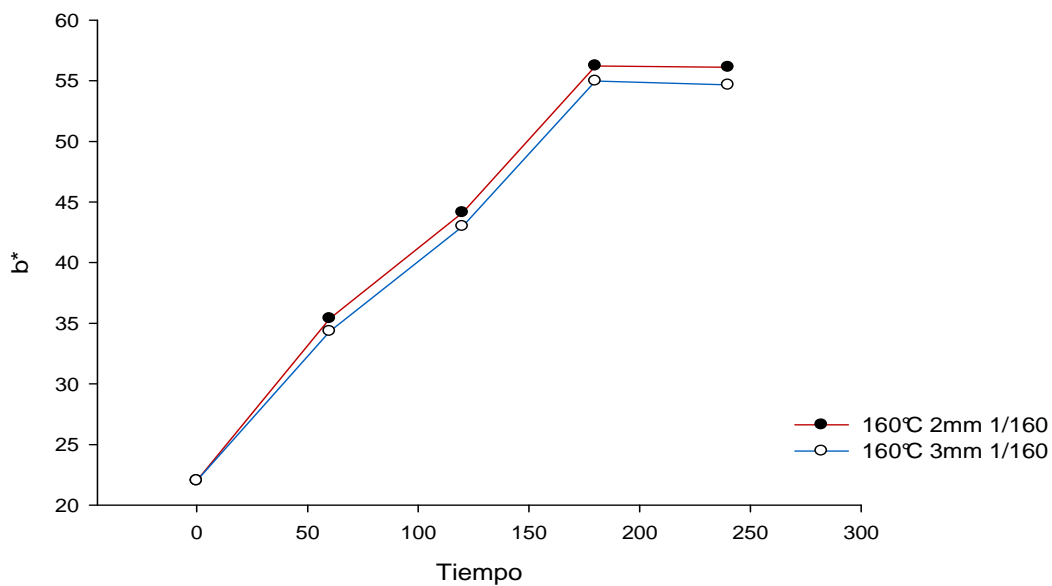
Fuente: Esta investigación

Gráfica 12. Comportamiento del valor de b^* a distintas relaciones producto – aceite



Fuente: Esta investigación

Gráfica 13. Comportamiento del valor de b^* a diferentes grosores



Fuente: Esta investigación

En general, se puede decir que el parámetro b^* tiene un comportamiento creciente a través del tiempo de fritura, esto demuestra que la tajada del plátano va adquiriendo un color amarillo característico de los productos fritos, por tal motivo es adecuado que los pasabocas posean altos valores de L^* y b^* , y bajos valores de a^* , debido a que los consumidores prefieren los colores amarillos y dorados en las tajadas, y rechazan los colores marrones, generados por el oscurecimiento durante su fritura (Ikoko y Kuri, 2007). Además, de las gráficas 11 y 12, se concluye que la temperatura y la relación producto – aceite, influyen en el comportamiento de b^* , lo que no ocurre con el grosor (gráfica 13),

El análisis de varianza para el grosor presenta un $p \geq 0,05$ indicando la no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las muestras; en cambio, para los demás factores se presenta un $p \leq 0,05$ demostrando diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%. (Cuadro 8)

Cuadro 8. Análisis de varianza ANOVA para b^* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFEKTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	1352,33	2	676,166	707101,47	0,0000
B:TIEMPO	11866,0	3	3955,32	4136281,85	0,0000
C:GROSOR	21,5064	1	21,5064	22490,36	0,6386
D:RELACION	416,058	1	416,058	435093,34	0,0000
INTERACCIONES					
AB	45,178	6	7,52967	7874,17	0,0000
AC	0,389862	2	0,194931	203,85	0,0000
AD	29,6511	2	14,8256	15503,85	0,0000
BC	2,87462	3	0,958206	1002,05	0,0000
BD	45,7998	3	15,2666	15965,08	0,0000
CD	3,15951	1	3,15951	3304,06	0,0000
ABC	0,519037	6	0,0865062	90,46	0,0000
ABD	25,4384	6	4,23973	4433,71	0,0000
ACD	0,539362	2	0,269681	282,02	0,0000
BCD	0,607519	3	0,202506	211,77	0,0000
ABCD	0,825037	6	0,137506	143,80	0,0000
RESIDUOS	0,0918	96	0,00095625		
TOTAL (CORREGIDO)	13810,9	143			

Fuente: Esta Investigación

Comportamiento del ΔE . Los datos experimentales de ΔE se presentan en la matriz de los valores medios en el cuadro 9, y se grafican en seguida:

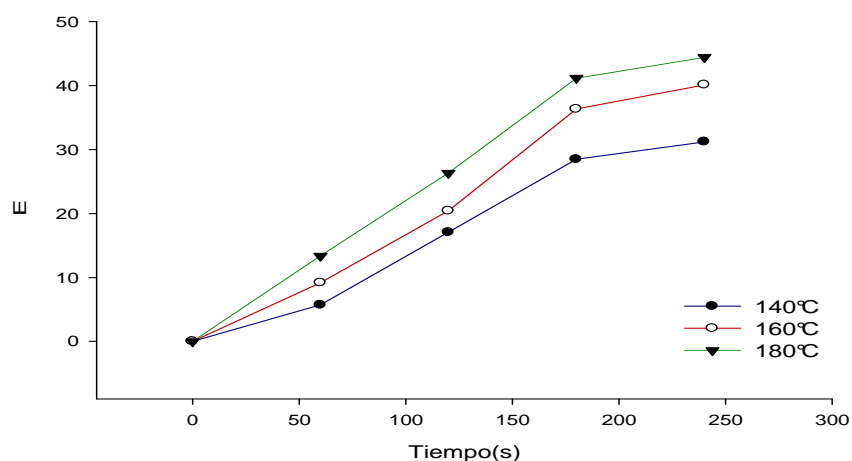
Cuadro 9. Valores promedio del factor ΔE

BLOQUE 1 2MM 1/80				BLOQUE 2 2MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	0	0	0	0	0	0	0
60	5,69	9,18	13,36	60	9,32	14,82	20,92
120	17,06	20,42	26,31	120	20,94	26,15	30,40
180	28,46	36,32	41,16	180	33,11	40,86	44,81
240	31,21	40,11	44,42	240	34,98	44,06	47,26

BLOQUE 3 3MM 1/80				BLOQUE 4 3MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	0	0	0	0	0	0	0
60	5,39	7,96	12,40	60	8,43	14,40	20,01
120	16,74	20,34	26,13	120	20,26	25,84	31,66
180	27,37	35,51	40,29	180	31,08	40,19	43,31
240	29,32	39,30	42,74	240	35,41	41,73	46,35

Fuente: Esta investigación

Gráfica 14. Comportamiento del ΔE



Fuente: esta Investigación

En la gráfica 14, se representa la variación de la diferencia total del color en el producto en función del tiempo, observándose que el producto tiende a ascender a medida que transcurre el tiempo, adquiriendo colores dorados tendiendo a marrones (poco atractivos para el consumidor), lo cual se atribuye al deterioro en su composición estructural al estar expuesto a temperaturas y tiempos elevados, como también a los procesos de caramelización y pardeamiento no enzimático (reacción entre azúcares reductores y aminoácidos a altas temperaturas), que se ve reflejado por colores marrones o rojizos (MASTROCOLA, 1991). También se observa que a partir de los 120s empieza a disminuir el ascenso y sólo a partir de los 180s se intenta estabilizar.

Cuadro 10. Análisis de varianza ANOVA para □E - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	2954,15	2	1477,07	21793,33	0,0000
B:TIEMPO	17941,0	3	5980,35	88236,45	0,0000
C:GROSOR	22,9361	1	22,9361	338,41	0,6999
D:RELACION	744,062	1	744,062	10978,19	0,0000
INTERACCIONES					
AB	100,702	6	16,7837	247,63	0,0000
AC	0,114956	2	0,0574778	0,85	0,4314
AD	4,80872	2	2,40436	35,47	0,0000
BC	7,66652	3	2,55551	37,70	0,0000
BD	18,7356	3	6,2452	92,14	0,0000
CD	0,0976563	1	0,0976563	1,44	0,2330
ABC	3,8888	6	0,648133	9,56	0,0000
ABD	37,0023	6	6,16705	90,99	0,0000
ACD	0,555117	2	0,277558	4,10	0,0196
BCD	1,23056	3	0,410186	6,05	0,0008
ABCD	7,75256	6	1,29209	19,06	0,0000
RESIDUOS	6,50653	96	0,0677764		
TOTAL (CORREGIDO)	21851,3	143			

Fuente: Esta Investigación

El cuadro 10, del análisis de varianza muestra que el grosor no influye de manera significativa en la diferencia total del color de las tajadas fritas, con un nivel de confianza del 95%(p \geq 0,05); en cambio, la temperatura, el tiempo y la relación producto – aceite, sí influyen de manera significativa, mostrando un p \leq 0,05.

La prueba de múltiples rangos (ver anexo 7d), permite afirmar lo expuesto en el análisis de varianza, ya que a diferencia del grosor (no influye significativamente), la temperatura, el tiempo y la relación producto - aceite no poseen grupos homogéneos, lo que permite concluir que el color de los pasabocas de plátano frito, depende de estos factores, lo que también se visualiza en las gráficas de medias (Ver anexo 8d).

4.3TEXTURA DELOS PASABOCAS DE PLÁTANO FRITO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (Musa AAB Simmonds)

La puntuación media de los resultados de la fuerza de ruptura, después de 5 días se muestra en la cuadro 11.

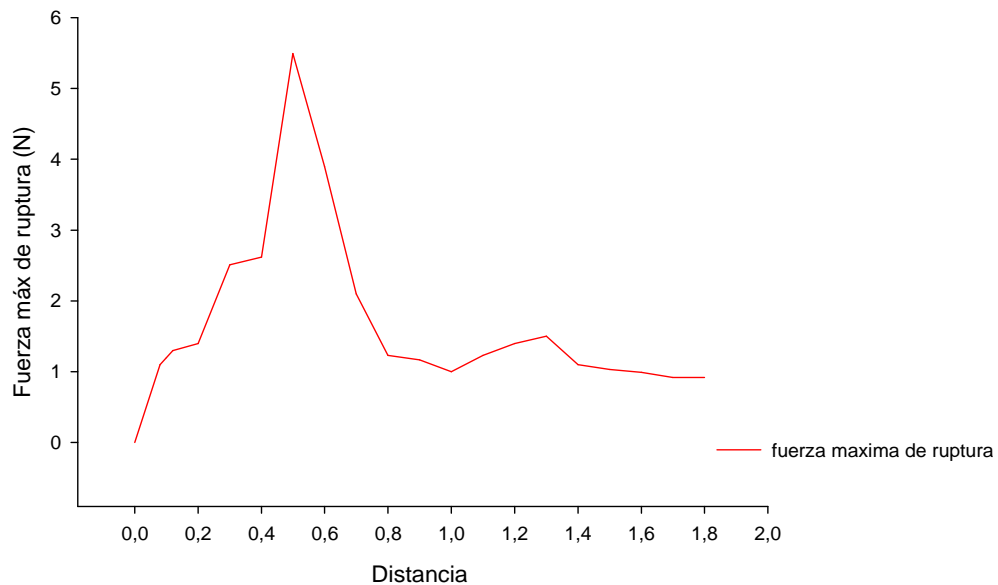
Cuadro 11. Valores promedio de la fuerza máxima de ruptura del plátano frito

Matriz 1 2MM 1/80				Matriz 2 2MM 1/160			
t(s)	T°C			t(S)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	----	----	----	0	----	----	----
60	----	----	----	60	----	----	----
120	8,033	7,158	6,812	120	8,426	7,911	7,702
180	6,468	6,041	5,518	180	7,189	6,655	5,771
240	5,537	4,874	4,686	240	6,444	5,304	4,888

Matriz 3 3MM 1/80				Matriz 4 3MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	----	----	----	0	----	----	----
60	----	----	----	60	----	----	----
120	10,572	9,566	8,847	120	10,233	10,002	9,256
180	9,132	8,879	7,741	180	9,689	9,434	8,965
240	8,191	7,983	7,047	240	8,633	8,492	8,145

Fuente: Esta Investigación

Gráfica 15. Comportamiento de la textura de los pasabocas de plátano

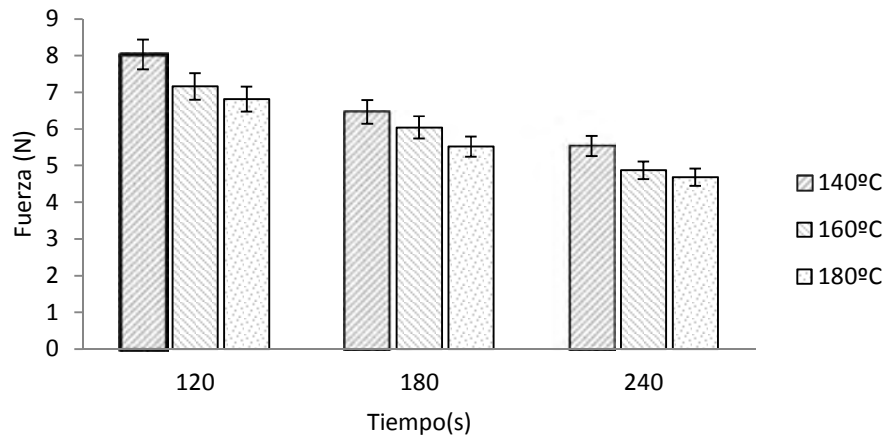


Fuente: Esta investigación

Los resultados que muestra la gráfica 15, son interpretados de manera que los valores bajos de la fuerza de ruptura indican valores altos de dureza, los puntos de quiebre muestran que existen diferentes fuerzas máximas de ruptura lo cual indica que los factores juegan un papel determinante en el comportamiento de la dureza de la tajada frita.

Esto se puede corroborar en las gráficas siguientes, las cuales comparan el tiempo de fritura contra la fuerza máxima de ruptura de la tajada frita relacionando temperaturas, grosores y relaciones producto/aceite; observándose que en las tres gráficas, la dureza tiene un comportamiento decreciente a través del tiempo, esto debido a que en el proceso de fritura se va eliminando agua haciendo que la tajada de plátano adquiera características de dureza deseables para que la textura del alimento sea agradable, es decir, el pasabocas sea más crocante. Los resultados de esta investigación son corroborados en el estudio del análisis mecánico de la textura de la corteza de patatas fritas, concluyendo que a medida que el tiempo de fritura aumenta la fuerza de fractura y la tenacidad disminuyen (ROSS, 2004).

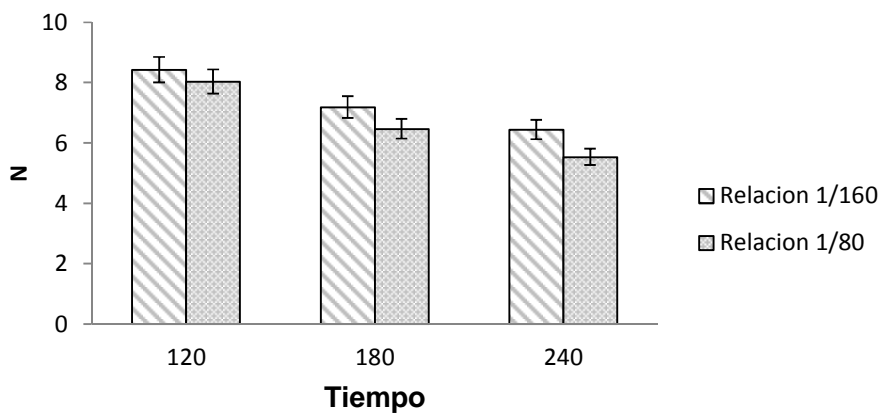
Gráfica 16. Comportamiento de la textura respecto a diferentes temperaturas



Fuente: Esta Investigación

Por otra parte, en la gráfica 16, se observa que la temperatura, influye de manera positiva en la dureza del plátano frito, puesto que al incrementarse la temperatura, el pasabocas disminuye su dureza, alcanzándose menores fuerzas de ruptura; lo cual es confirmado según el estudio del efecto de la temperatura de cocción en la calidad nutricional y en la textura en un producto de v Gama esterilizado a partir de judía verde (HERNÁNDEZ M., 2007), donde se encontró que efectivamente la temperatura influye en la textura final de los alimentos (judías).

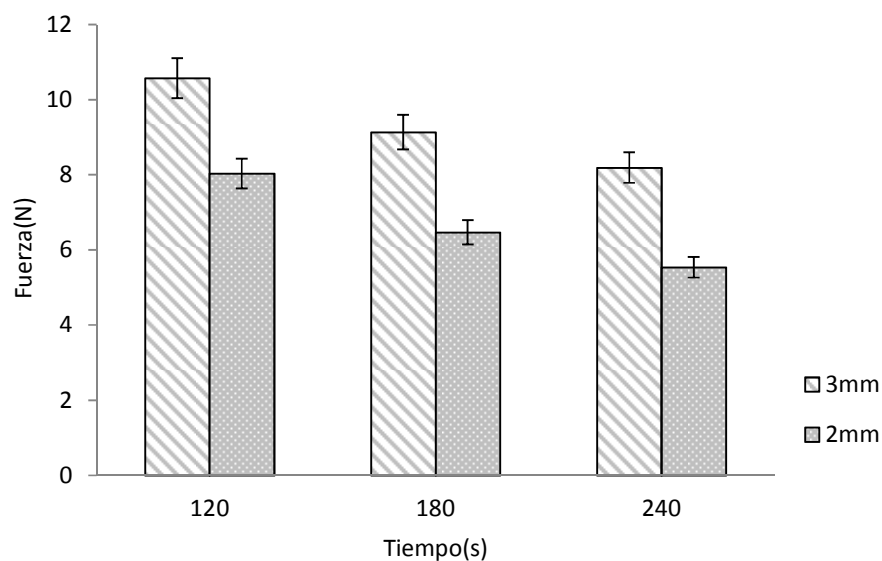
Gráfica 17. Comportamiento de la textura respecto a las relaciones producto-aceite



Fuente: Esta Investigación

De la gráfica 17, se infiere que la relación producto/aceite, altera la dureza del pasabocas, ya que se observan diferencias en los valores de la fuerza de fractura de los pasabocas fritos, al presentarse altos valores de fuerza de fractura en la relación 1/160, debido a la rápida formación de la costra, que impide la salida del agua en mayor proporción, generándose productos flexibles.

Gráfica 18. Comportamiento de la textura respecto a los grosores de la tajada



Fuente: Esta Investigación

Según la gráfica 18, en los pasabocas de mayor grosor (3mm), la presencia de agua genera productos que necesitan de una fuerza mayor para ser fracturados, obteniendo plátanos fritos más duros que los de 2mm; puesto que en los pasabocas más delgados el agua se evaporará más rápido, logrando menor cantidad de agua en el plátano frito; este comportamiento, permite concluir que la textura depende de la cantidad de agua, ya que la deshidratación a altas temperaturas, altera la estructura interna, reflejándose en la disminución de la fuerza de ruptura de las células(LUCAS & et. al., 2011)

Cuadro 12. Análisis de varianza para textura.- Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	21,6967	2	10,8483	77181,91	0,0000
B:TIEMPO	73,9065	2	36,9533	262908,59	0,0000
C:GROSOR	171,688	1	171,688	1221493,34	0,0000
D:RELACION	8,42358	1	8,42358	59930,58	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,408552	4	0,102138	726,67	0,0000
AC	0,626463	2	0,313232	2228,53	0,0000
AD	0,24436	2	0,12218	869,27	0,0000
BC	2,76486	2	1,38243	9835,46	0,0000
BD	0,259745	2	0,129872	923,99	0,0000
CD	0,00616533	1	0,00616533	43,86	0,0000
ABC	0,600926	4	0,150231	1068,84	0,0000
ABD	0,580019	4	0,145005	1031,65	0,0000
ACD	0,959216	2	0,479608	3412,23	0,0000
BCD	0,783961	2	0,39198	2788,79	0,0000
ABCD	0,400288	4	0,100072	711,98	0,0000
RESIDUOS	0,01012	72	0,000140556		
TOTAL (CORREGIDO)	283,359	107			

Fuente: Esta Investigación

El cuadro 12 del análisis de varianza ANOVA muestra que existe incidencia significativa sobre el comportamiento de la dureza en la tajada frita ($p \leq 0,05$), con un nivel de confianza del 95%, los resultados del análisis de varianza se corroboran por la prueba de múltiples rangos (anexo 7e) donde demuestra que las medias son diferentes unas de otras.

4.4 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS PASABOCAS DE PLÁTANO FRITO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (MUSA AAB SIMMONDS)

Para la determinación de la humedad, se desarrollan las experiencias definidas en la metodología de la investigación; de lo cual se logra obtener las gráficas 19, 20 y 21, que bosquejan la eliminación de la humedad adimensional (ψ) a medida que

transcurre el tiempo en las distintas condiciones de proceso. En la cuadro 13 se muestran los valores.

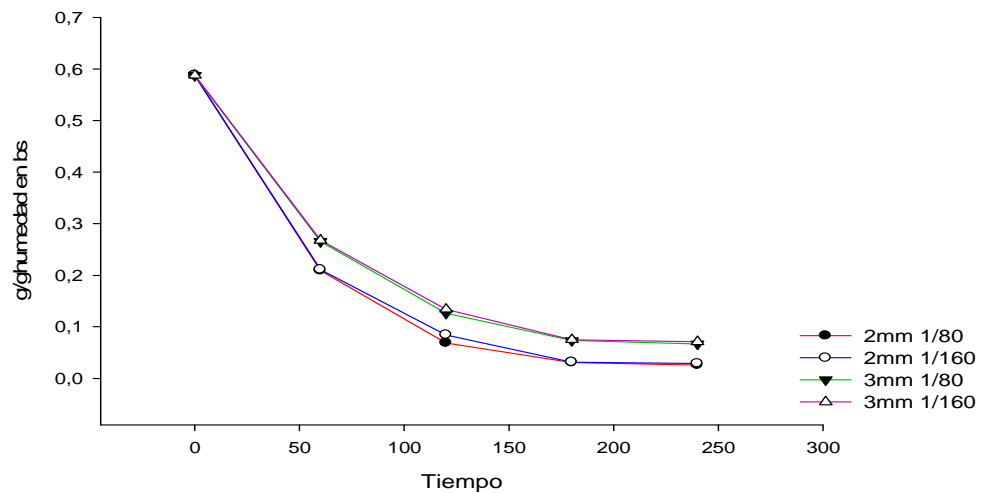
Cuadro 13. Valores promedio del comportamiento de la humedad.

Matriz1 2MM 1/80				Matriz 2 2MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	0,588	0,588	0,588	0	0,588	0,588	0,588
60	0,20907	0,16708	0,13856	60	0,21091	0,17832	0,14215
120	0,06891	0,05582	0,04245	120	0,08422	0,06313	0,04695
180	0,03092	0,02868	0,02441	180	0,03153	0,03012	0,02742
240	0,02593	0,02303	0,02148	240	0,02898	0,02699	0,02206

Matriz 3 3MM 1/80				Matriz 4 3MM 1/160			
t(s)	T°C			t(s)	T°C		
	140	160	180		140	160	180
0	0,588	0,588	0,588	0	0,588	0,588	0,588
60	0,26520	0,22799	0,19071	60	0,26791	0,22556	0,19188
120	0,12648	0,10045	0,08682	120	0,13388	0,10983	0,08912
180	0,07328	0,07112	0,06668	180	0,07508	0,07245	0,06923
240	0,06716	0,06429	0,06259	240	0,07078	0,06781	0,06366

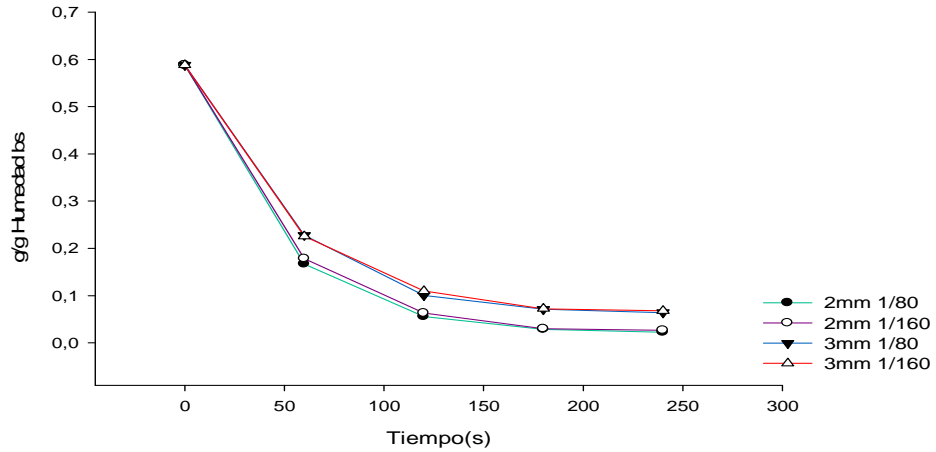
Fuente: Esta Investigación

Gráfica 19. Contenido de humedad a 140°C vs tiempo de fritura



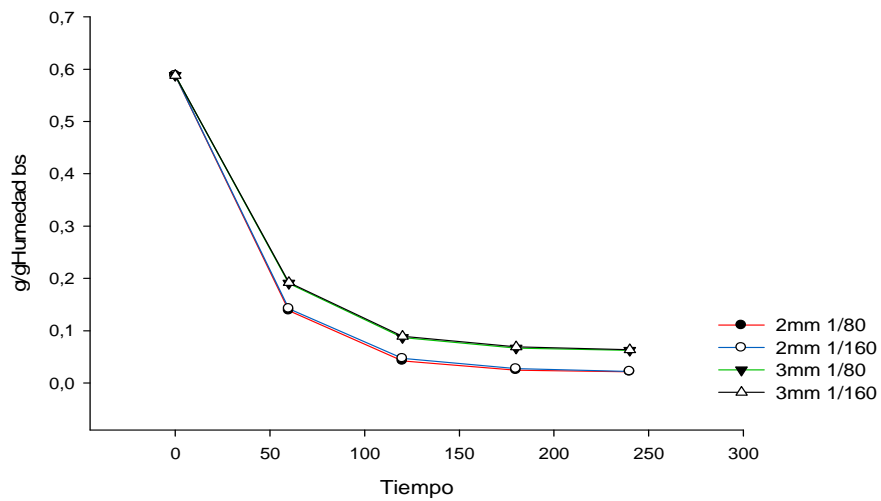
Fuente: Esta Investigación

Gráfica 20. Contenido de humedad a 160°C vs tiempo de fritura



Fuente: Esta Investigación

Gráfica 21. Contenido de humedad a 180°C vs tiempo de fritura



Fuente: Esta Investigación

De las gráficas 19, 20 y 21, se puede observar que la pérdida de humedad, se describe a través de la típica curva de secado de alimentos en la etapa de velocidad decreciente; lo cual concuerda con lo observado en las curvas de fritura al vacío de rodajas de manzana (BRAVO, 2008). Este gráfico es semejante a los reportados en la literatura tanto para procesos convencionales de deshidratación de alimentos, como para fritura convencional y al vacío (KROKIDA & et. al., 2000)(MOREIRA & PALAU, 1995)(SAHIN & SASTRY, 1999 b).

Por otro lado, y comparando las tres gráficas, se puede inferir que a medida que el medio de fritura presenta una temperatura mayor, la velocidad del secado se aumenta, permitiendo eliminar el agua del producto, de manera más rápida; específicamente a los primeros 60 segundos, se encontrará un menor valor del contenido de humedad, al aumentar la temperatura; observándose que en las gráficas de las temperaturas altas (160 y 180°C), la pendiente es mayor (BUDZAKI, 2005)(BRAVO, 2008); comportamiento que se logra confirmar al presentarse una rápida disminución de 68,8% bh a la tercera parte de su porcentaje inicial (60 segundos), aproximadamente (Humedad: 2,09% – 1,67% y 1,38% y temperaturas: 140°C, 160°C y 180 °C respectivamente); lo cual conlleva a encontrar que cuando la mayor cantidad de agua ha salido del alimento, la mayor retención de aceite se ha producido en el mismo (GAMBLE & RICE, 1987); ya que es necesario que el vapor salga de la matriz sólida para que los huecos disponibles, más tarde sean ocupados por la grasa (MEHTA & SWINBUM, 2001). Además, y a partir de los 120 segundos del proceso de fritura, la velocidad de pérdida de humedad es menor; lográndose un porcentaje de humedad final de un 2% aproximadamente; en las distintas condiciones del proceso; porcentaje que coincide con lo reportado en fritura al vacío de tomate de árbol (JIBAJA MERA, 2010); es así como se encuentra una relación directa y significativa entre la temperatura y la humedad, mediante el análisis de varianza principalmente (cuadro 14); lo cual, también es expresado por Moreira y otros investigadores en 1999

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro 14. Análisis de varianza para ANOVA humedad. Suma de Cuadrados Tipo III

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:GROSOR	0,0723395	1	0,0723395	77162114,08	0,0000
B:RELACION	0,00115362	1	0,00115362	1230529,31	0,0000
C:TEMPERATURA	0,0180738	2	0,00903692	9639380,71	0,0000
D:TIEMPO	0,587662	3	0,195887	208946474,05	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,000033005	1	0,000033005	35205,36	0,0000
AC	0,0000279065	2	0,0000139532	14883,45	0,0000
AD	0,00192622	3	0,000642073	684878,15	0,0000
BC	0,000284667	2	0,000142334	151822,45	0,0000
BD	0,000320869	3	0,000106956	114086,85	0,0000
CD	0,0212205	6	0,00353674	3772527,76	0,0000
ABC	0,000220733	2	0,000110366	117724,22	0,0000
ABD	0,00042186	3	0,00014062	149994,55	0,0000
ACD	0,000940652	6	0,000156775	167226,96	0,0000
BCD	0,000727297	6	0,000121216	129297,25	0,0000
ABCD	0,000759883	6	0,000126647	135090,24	0,0000
RESIDUOS	9,E-8	96	9,375E-10		
TOTAL (CORREGIDO)	0,706113	143			

Fuente: Esta Investigación

Según la cuadro 14 (ANOVA), la variabilidad de humedad se debe a la intervención de todos los factores evaluados, incluyendo sus interacciones; debido a que los valores-p al ser menores que 0,05 prueban la significancia estadística de cada uno de estos sobre la humedad con un nivel de confianza de 95,0%. Lo anterior se corrobora mediante las pruebas de múltiples rangos, al encontrar la ausencia de grupos homogéneos con un 95% mediante la prueba de Tukey (Ver anexos 8f y 9f) y los gráficos de medias para cada factor.

4.5 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA GRASA EN LOS PASABOCAS DE PLATANO FRITO.

En seguida, se grafican los valores promedio, teniendo en cuenta las combinaciones de los factores que intervienen en el proceso, y haciendo constante en cada gráfica la temperatura, con el fin de hacer un análisis descriptivo de la cinética de absorción de grasa durante la fritura; sus respectivos valores en la cuadro 15.

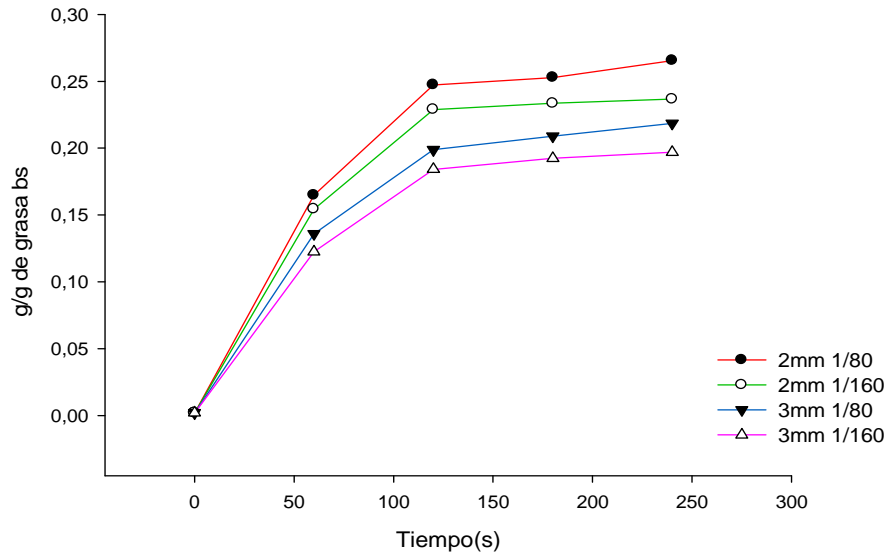
Cuadro 15. Valores promedio de la cantidad de grasa en los pasabocas de plátano

Matriz 1 2MM 1/80				Matriz 2 2MM 0.5/80			
	T°C				T°C		
t(s)	140	160	180	t(s)	140	160	180
0	0,002	0,002	0,002	0	0,002	0,002	0,002
60	0,16493	0,20070	0,21662	60	0,15443	0,18625	0,19550
120	0,24736	0,26960	0,29735	120	0,22900	0,25533	0,28445
180	0,25290	0,27406	0,30018	180	0,23357	0,26752	0,29099
240	0,26555	0,27659	0,30396	240	0,23680	0,27138	0,29578

Matriz 3 3MM 1/80				Matriz 4 3MM 0.5/80			
	T°C				T°C		
t(s)	140	160	180	t(s)	140	160	180
0	0,002	0,002	0,002	0	0,002	0,002	0,002
60	0,13601	0,15267	0,17465	60	0,12254	0,14020	0,15786
120	0,19891	0,21296	0,23188	120	0,18420	0,20311	0,20720
180	0,20898	0,22305	0,23862	180	0,19248	0,20519	0,22097
240	0,21861	0,22685	0,24207	240	0,19701	0,21104	0,23516

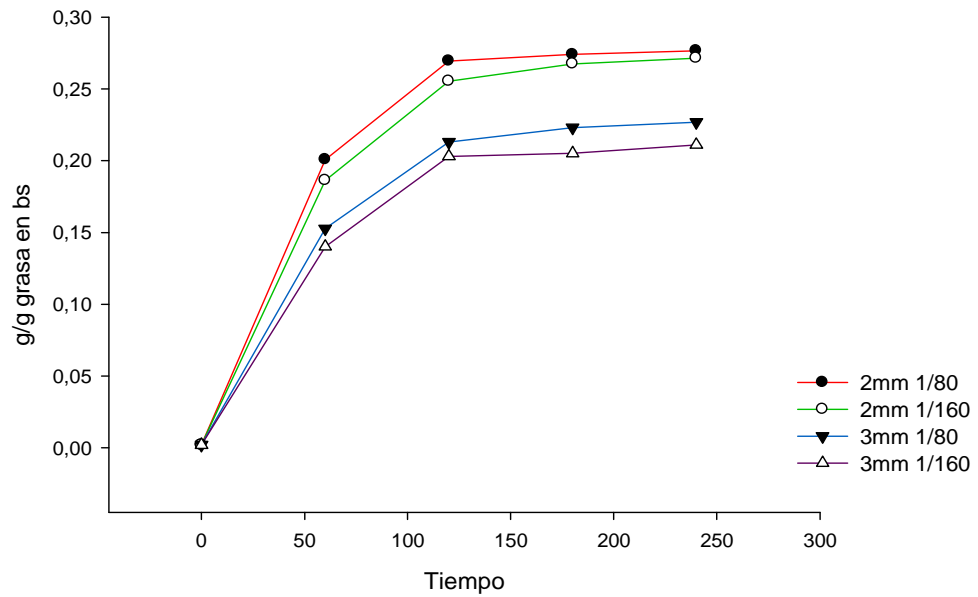
Fuente: Esta Investigación

Gráfica 22. Cinética del contenido de grasa a 140°C Vs tiempo de fritura



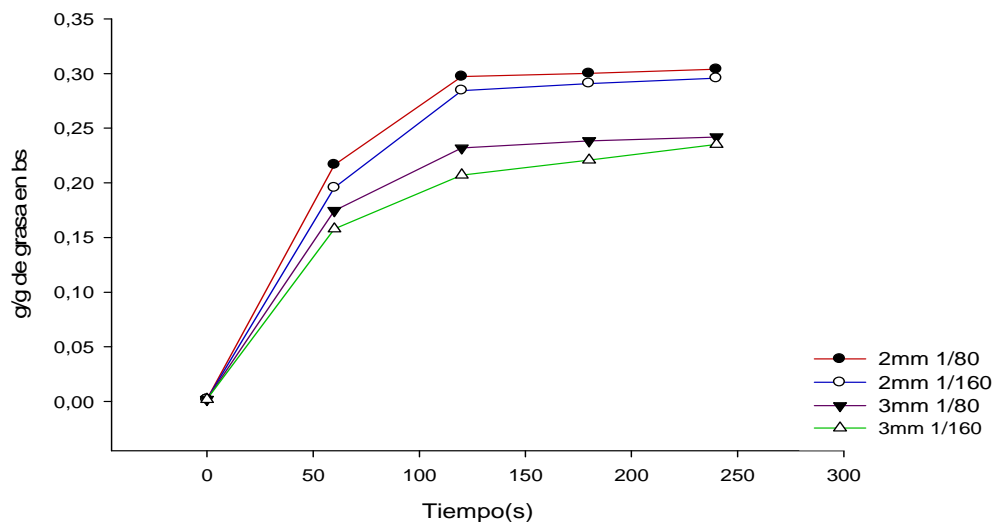
Fuente: Esta Investigación

Gráfica 23. Cinética del contenido de grasa a 160°C Vs tiempo de fritura



Fuente: Esta Investigación

Gráfica 24. Cinética del contenido de grasa a 180°C vs tiempo de fritura



Las gráficas 22, 23 y 24, muestran que el tiempo influye en el proceso de fritura de los pasabocas de plátano, porque a medida que este aumenta, el contenido de grasa tiene el mismo comportamiento, resultado que coincide con lo reportado por otros autores (IKOKO & KURI, 2007). Otro aspecto a anotar es que el porcentaje de aceite y el espesor de la tajada, se comportan de manera inversa con el transcurrir del tiempo, debido a que a mayor grosor, la presencia de grasa en la rebanada es menor y viceversa; puesto que si el espesor del producto es más grueso, disminuye el contenido de aceite en el interior del mismo, al presentar menor área específica, reduciéndose el área relativa disponible para perder el agua (KROKIDA & et. al., 2000); lo cual también lo confirman Baumann y Escher que exponen que al aumentar el espesor del producto se incrementa el tiempo de fritura.

Por otra parte, se logra observar que la temperatura también influye en el proceso de fritura al presentarse mayores porcentajes de grasa a medida que la temperatura aumenta; sin embargo, varios autores, observaron que el contenido de aceite no estaba directamente relacionado con la temperatura de fritura, sino con la humedad residual del alimento (GAMBLE & RICE, 1987).

Sumado a esto, se logra inferir, que el porcentaje del factor de interés, también se ve afectado por la cantidad de producto que se agrega al volumen de aceite (4 litros), puesto que con una cantidad pequeña de tajadas, el alimento, presenta poca grasa, posiblemente porque cuando está expuesto a grandes cantidades de calor, se forma rápido la costra, lo cual impide el libre paso de la grasa al alimento, al actuar como barrera del intercambio; sin embargo, es importante anotar que no es un aspecto decisivo en la calidad de las tajadas.

Finalmente, de las gráficas se resalta que independientemente de las condiciones de fritura, el proceso empieza por estabilizarse a partir de los 120 segundos aproximadamente, ya que después de este tiempo, la pendiente es casi nula; es decir, mientras transcurre el proceso de fritura, el contenido de aceite se incrementa hasta alcanzar un equilibrio, el cual representa la máxima cantidad de aceite que las tajadas de plátano fritas podrían absorber.

Cuadro 16. Análisis de varianza ANOVA para grasa. Suma de Cuadrados Tipo III

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:GROSOR	0,0943365	1	0,0943365	636295,25	0,0000
B:RELACION	0,00797107	1	0,00797107	53764,46	0,0000
C:TEMPERATURA	0,0396129	2	0,0198065	133593,68	0,0000
D:TIEMPO	0,155459	3	0,0518195	349520,05	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,000023725	1	0,000023725	160,02	0,0000
AC	0,00220736	2	0,00110368	7444,27	0,0000
AD	0,00184092	3	0,00061364	4138,97	0,0000
BC	0,000205624	2	0,000102812	693,46	0,0000
BD	0,0000108334	3	0,00000361112	24,36	0,0000
CD	0,000243266	6	0,0000405443	273,47	0,0000
ABC	0,0000829656	2	0,0000414828	279,80	0,0000
ABD	0,0000554001	3	0,0000184667	124,56	0,0000
ACD	0,000491503	6	0,0000819172	552,53	0,0000
BCD	0,000534205	6	0,0000890341	600,53	0,0000
ABCD	0,000270052	6	0,0000450086	303,58	0,0000
RESIDUOS	0,0000142329	96	1,48259E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0,303359	143			

Fuente: Esta Investigación

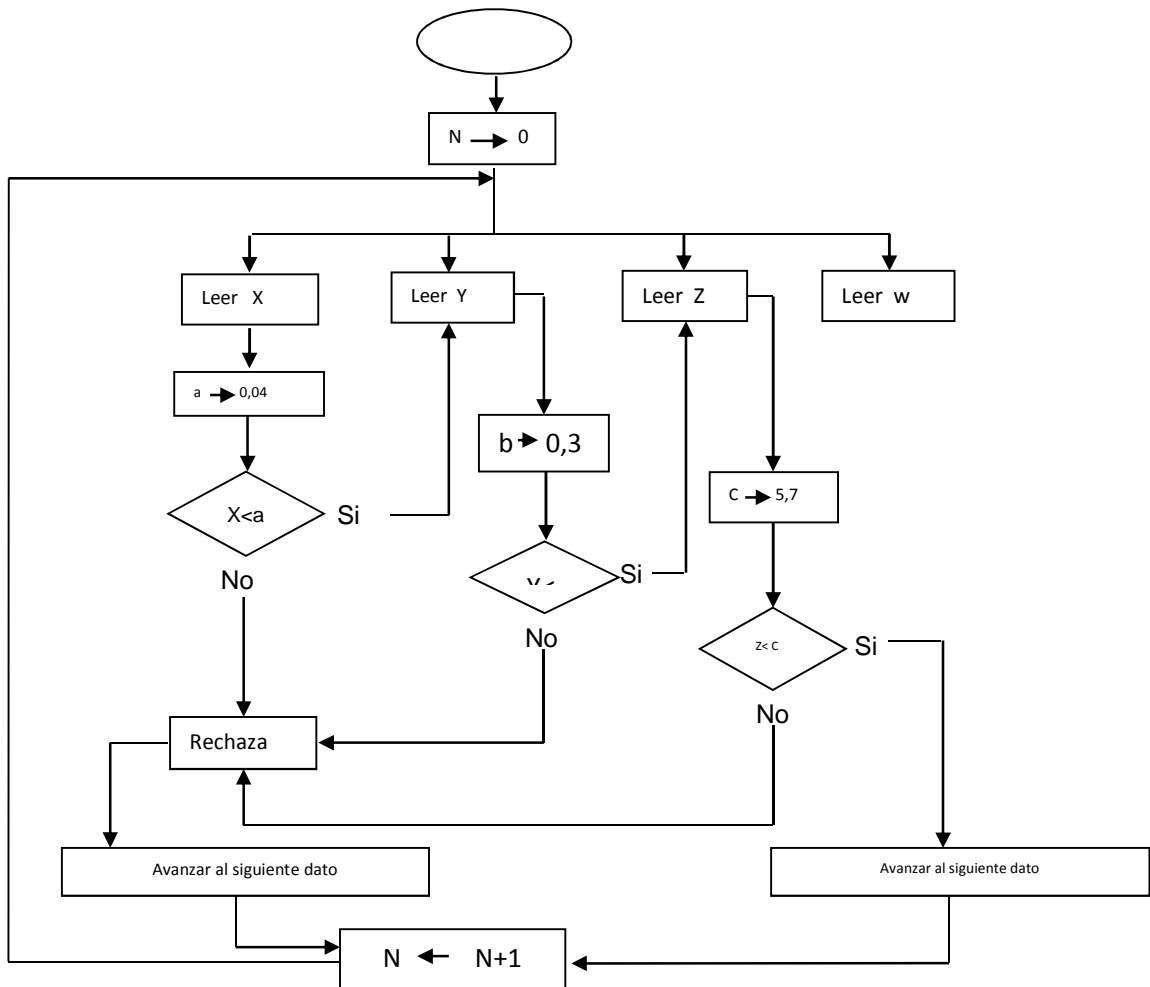
En el cuadro 16, correspondiente al análisis de varianza ANOVA, que describe cada uno de los efectos y sus interacciones, presentan un p – valor \leq a 0,05 (0,000); lo que quiere decir que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de grasa, con un nivel de confianza del 95%.

También se hizo necesario corroborar mediante la prueba de múltiples rangos las diferencias entre tratamientos, y efectivamente se puede observar en el anexo 8g, que no existen grupos homogéneos entre los tratamientos, por lo que se confirma que en el proceso todas las variables generan resultados diferentes, lo que se respalda en el gráfico de medias (Ver anexos 8g)

4.6 MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA EL MEJOR TRATAMIENTO DEL PROCESO DE FRITURA DE PASABOCAS DE PLÁTANO VARIEDAD DOMINICO HARTÓN (*Musa AAB Simmonds*)

4.6.1 Selección de los mejores tratamientos del proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad dominico hartón (*musa aabsimmonds*). Mediante la implementación del algoritmo (figura 16), se obtuvo que los mejores tratamientos del proceso de fritura de pasabocas de plátano dominico hartón, corresponden a los tratamientos que se plantean en el cuadro 17, el color al ser un atributo está sujeto a las demás variables.

Figura 16. Aplicación de algoritmos



Fuente: Esta Investigación

Cuadro 17. Mejores tratamientos en el proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón (Musa AAB Simmonds)

Tratamiento	Humedad bs (g/g)	Grasa bs (g/g)	Textura Fuerza máxima de ruptura(N)	ΔE
1412	0,02593	0,26555	5,537 N	31,21
2412	0,02303	0,27659	4,874 N	40,11
2411	0,02699	0,27138	5,304 N	44,06
3411	0,02206	0,29578	4,888 N	47,26

Fuente: Esta Investigación

Posteriormente, se predicen los valores de las distintas experiencias a las variadas condiciones, obteniéndose las ecuaciones de Monod (tabla 12) que describen la máxima cantidad de grasa absorbida en un tiempo t de fritura, y el tiempo necesario para alcanzar la mitad de la máxima cantidad de grasa.

Cuadro 18. Datos del Modelamiento matemático a partir de la Ecuación de Monod

Variable	Dependiente	Contenido de grasa (g/g bs)	Función	$Y = \frac{At}{B + t}$	
	Independiente	Tiempo de fritura (s)			
Tratamiento	Modelo	R ²	Y Experimental	Y Calculado	% Error
1412	$Y = \frac{0,35384t}{66,45554 + t}$	0,9526	0,26555	0,27711	4,17
2412	$Y = \frac{0,33401t}{38,28906 + t}$	0,9357	0,27659	0,28805	3,98
2411	$Y = \frac{0,33803t}{47,46007 + t}$	0,9636	0,27138	0,28221	3,83
3411	$Y = \frac{0,38404t}{55,66090 + t}$	0,9393	0,29578	0,31174	5,11

Fuente: Esta investigación.

Finalmente, se modela la pérdida de humedad por difusión obteniéndose valores de difusividad efectiva y energía de activación (tabla 13), esta última necesaria para identificar la barrera energética que se debe superar para que el proceso se lleve a cabo.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, y que la bondad del ajuste del modelo, representada en el coeficiente de determinación (R^2), significa que las condiciones establecidas para la modelización fueron correctas, por tanto, y a partir de ello se logra definir que el mejor tratamiento del proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón es el correspondiente a la temperatura de 160°C, tiempo de 240 segundos, grosor de 2mm y una relación producto/aceite de 1/80, para lo cual se encuentra un valor de la difusividad efectiva de $2,152 \cdot 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$, una energía de activación de 2,3239 KJ/mol, con un coeficiente de determinación del 98,32% (tabla 13 y gráfica 25).

Además, presenta una textura de 4,874N que corresponde el valor más bajo dentro de los tratamientos que arrojo el procedimiento de algoritmos, una diferencia total de color (ΔE) de 40,11 (figura 16), representando pasabocas de plátano dorados, con un contenido final de humedad de 2,303% bh y un contenido de grasa de 27,69% bh.

Sumado a esto, de la tabla 12, se puede inferir que el mejor tratamiento en el tiempo t, alcanza un máximo contenido de grasa de 0,33401 g/g bs o 33,401% bh, y sólo cuando han transcurrido 38,28906 segundos alcanza la mitad de la máxima absorción de grasa.

Cuadro 19. Valores del coeficiente de Difusión ($Deff$), de la Energía de activación y del Coeficiente de determinación del modelo.

Condiciones				Ea (KJ/mol)	Deff (m^2/s) 10^{-9}	R ² (%)
T °C	t (s)	Grosor r(mm)	Relación P/A			
140	240	2mm	1/80	2,3537	0,207 2	98,31
160	240	2mm	1/80	2,3239	0,215 2	98,32
160	240	2mm	0,5/80	3,4050	2,045	91,99
180	240	2mm	0,5/80	3,405	2,181 7	91,99

Fuente: Esta investigación

Gráfica 25. Influencia de la temperatura de fritura en la difusividad efectiva

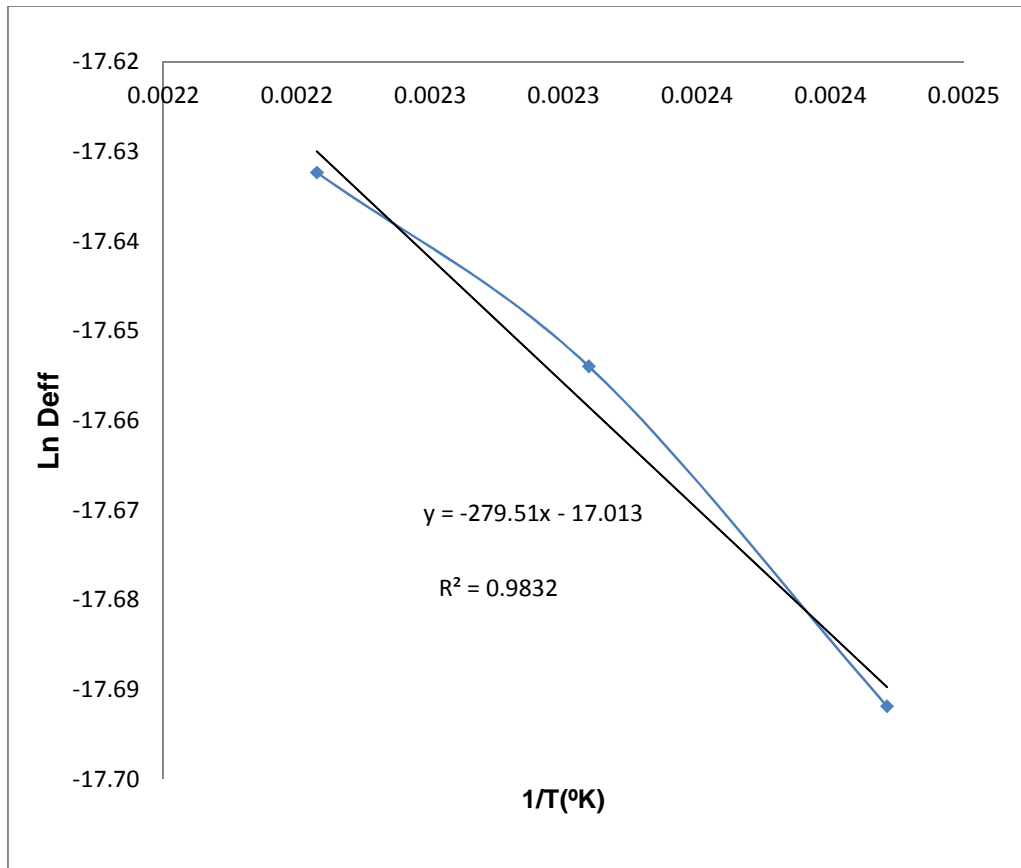


Figura 17. Pasabocas fritos a las condiciones del mejor tratamiento de fritura



Fuente. Esta investigación

CONCLUSIONES

Estudiar el comportamiento de los factores y las interacciones del tiempo, temperatura, grosor del pasabocas y relación producto - aceite, permite demostrar que en el proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón, todos influyen de manera significativa en las variables analizadas (textura, humedad y grasa).

En el proceso de fritura todos los parámetros influyen, sin embargo, los parámetros que mayor incidencia presentan en la ganancia de grasa y la pérdida de humedad, son la temperatura y el tiempo de freído, encontrándose que la temperatura está directamente relacionada con la pérdida de agua.

La cantidad de producto inmerso en el medio calefactor, interviene directamente en el decrecimiento de la temperatura del mismo, puesto que entre mayor sea la cantidad de producto (relación 1/80), mayor será el decrecimiento en la temperatura (Relación producto -aceite: 1/80 en 12°C y 1/160 en 7°C).

La modelación del proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón por métodos empíricos (Modelo de Monod y de Difusión), permite mayor predicción en la calidad de los productos fritos, lo que conlleva a controlar de forma más adecuada los factores que intervienen en el proceso.

Las mejores condiciones para obtener un producto que cumpla con todos los parámetros de calidad para los snacks es de: Temperatura: 160°C; Tiempo: 240s; Grosor: 2mm; Relación P/A: 1/80; obteniendo una humedad de 0,02303 g/gbs, el cual para alcanzar esta proporción de agua en el pasabocas, necesitó de 2,3239 KJ/mol como la mínima energía a sobrepasarse para llevar a cabo el proceso y lograr que el menor contenido de grasa en el tiempo t, no se eleve drásticamente ($A=0,33401$ g/g bs).

RECOMENDACIONES

Realizar más investigaciones concernientes al proceso de fritura, con el fin de lograr homogenizar las producciones en las industrias de snacks, principalmente en el departamento, donde esta actividad se realiza de forma casi artesanal.

Investigar más detalladamente el proceso de fritura de tajadas de plátano variedad dominico hartón para alcanzar mejores resultados en las características finales.

Enfatizar el estudio en la etapa de enfriamiento de las tajadas de plátano variedad dominico hartón, puesto que autores expresan que la mayor retención de grasa ocurre en este momento.

Ampliar las investigaciones de fritura con otros productos, con el único propósito de dar valor agregado a alimentos que no se aprovechan adecuadamente en la región.

Estudiar los efectos que producen los pre- tratamientos y post – tratamientos en la pérdida de humedad, ganancia de aceite, en la textura y el color de las tajadas, durante la fritura convencional.

Ampliar la investigación en los fenómenos de calor tomando como estudio el medio calefactor con el fin de medir la calidad de la vida útil del aceite de fritura.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, J. (1997). Temas en tecnología de alimentos Volumen 1, Editorial Instituto Politécnico Nacional, México, pp. 187-211. México.

ALVARADO, J. d. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Ambato Ecuador: Acribia S.A.

ARCILA P, M. I. (27 de Octubre de 2002). Capacitación tecnológica para el mejoramiento del agronegocio del plátano en el eje cafetero. Recuperado el 9 de Febrero de 2011, de Postcosecha, industrialización y uso de subproductos del plátano: http://www.musalit.org/pdf/IN030095_es.pdf

ARCILA P, M. I. (27 de Octubre de 2002). Situacion de la Agroindustria de plátano en la zona central cafetera colombiana. Recuperado el 9 de Febrero de 2011, de http://www.musalit.org/pdf/IN030095_es.pdf

ARCILA P., M. I. (2002). Capacitación tecnológica para el mejoramiento del Agronegocio del plátano en el eje cafetero. Recuperado el 15 de Noviembre de 2010, de Postcosecha, industrialización y uso de subproductos del plátano: http://www.cadenahortofrutícola.org/admin/bibli/20agronegocio_del_plátano.pdf

BANGA, J., & et. al. (2003). Improving food processing using modern optimization methods. Trends in food science & technology , 14, 131-144.

BANGA, J., & SINHG, P. (1994). Optimization of air drying of foods. Journal of Food Engineering , 23, 189-211.

BAUMANN, B. y. (1995). Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 28, 395-403.

BELITZ, H., & GROSH, W. &. (2004). Food Chemistry, 3ème ed. Springer. Heidelberg , Germany.

BLASCO. (2006).

BLUMENTHAL, M. (1991). A new look at the chemistry and physics of deep - fat-frying. Food technol 45:68-71.

BON. (1997).

BRAVO, J. (2008). "Contribución al estudio de la fritura al vacío: Deshidatación de rojadas de manzana". Tesis previa a la obtención del título de Doctorado en Tecnología de Alimentos. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, España.

BUDZAKI, S. &. (2005). Moisture loss and oil uptake during deep fat frying of "krostula" dough. European Food Research and Technology , 220, 90-95.

CABRERA, H., & PÉREZ, S. y. (s.f.). Determinación de las coordenadas CIELab y otros parámetros influyentes en el color en vinos tintos de las Islas Canarias.

CABRERA, H., & PÉREZ, S. y. (1997). Determinación de las coordenadas CIELab y otros parámetros influyentes en el color en vinos tintos de las Islas Canarias.

CARPENTER, R., & LYON, D. y. (2002). Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. Zaragoza - España: Acribia.

Castillo, V. (2005). Efecto de la variedad de Platano sobre la calidad de las tajadas fritas .

CCI, C. I. (2009). Oferta Agropecuaria ENA - Cifras.

CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL CCI. (5 de Diciembre de 2000). Acuerdo de competitividad de la Cadena productiva del plátano en Colombia. Recuperado el 19 de Febrero de 2011, de Colección documentos IICA, Serie competitividad No 18: http://www.sisav.valledelcauca.gov.co/CADENAS_PDF/platano/IICABogota.pdf

COSTA, R., & OLIVEIRA, F. (1999). Modelling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model . *Journal of Food Engineering* , 41, 177-185.

CRANK, J. (1975). *The mathematics of Diffusion*. Oxford Univ. Londres, England.

CUESTA, C., & SÁNCHEZ MUNIZ, F. V. (1988). Nutritive value of frying fats, in Varela G (Ed.) *Frying of Food: Principles, Changes, New Approaches*. Ellis Horwood, 112-128. Chichester, England.

CUETO, C., & GARCÍA, D. y. (2007). PREDIBAL 1.0: Herramienta informática para la predicción de la población de dos bacterias ácido lácticas, aisladas del suero costeño .

DA SILVA, M. G., & STROEVE, P. y. (1997). Analysis of oil penetration in foods during frying using a single pore approach. *Seventh International congress on engineering and food*.

DE HOMBRE MORGADO, R., & DIAZ ABREU, J. a. (s.f.). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Capítulo 1. Textura de sólidos y semisólidos. La Habana, Cuba.

DOBARGANES, C., & et. al. (2000). Interactions between fat and food during deep frying. *European journal of lipid science and technology* , 102, 521-528.

ESCHER, B. y. (1995).

FARKAS, B. E., & SINGH, R. P. (1996a). Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model Development. *Journal of Food Engineering* , 29, 211-226.

FARKAS, B. S. (1996a). Modelling heat and mass transfer in immersion frying. I model development. *Journal of food Engineering*.

FELLOWS, P. J. (1998). Frying. In: P. J. Fellows, Food processing technology. Principles and practice (pp. 355-362). New York: Woodhead. Woodhead, New York.

Fellows, P. (1994). Tecnología del procesado de alimentos: Principios y prácticas. Zaragoza: Acribia.

GAMBLE, M. H., & RICE, P. y. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. . International Journal of Food Science and Technology , 22, 233-241.

GOBERNACIÓN DE NARIÑO. (2012). Plan de desarrollo departamental: Nariño mejor. San Juan de Pasto: Edinar.

GRUPO EDITORIAL SEMANA. (2009). Las 100 empresas más grandes de Colombia y las 900 siguientes. Revista Semana , Mayo 4.

HIMMELBLAU, D. y. (1992). Análisis y simulación de procesos. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.

IKOKO, J., & KURI, V. (2007). Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. Food Chemistry , 102 (2007) 523–531.

JIBAJA MERA, H. (2010). Modelado de la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol . Quito , Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

KIRK R. S., S. R., & Egan, H. C. (s.f.). segunda edición; Compañía editorial continental SA de CV, México, 1996. .

KROKIDA, M. K., & et. al. (2001). Colour changes during deep fat frying. Journal of Food Engineering , 48, 219-225.

KROKIDA, M. K., & et. al. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* , 48, 219-225.

KROKIDA, M. K., & et. al. (2000). Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering* , 44, 39-46.

L, H. F., alimentos, A. m., & Acribia. Zaragoza (España), 1. (s.f.).

LECKER, G., & CARRASCO PANCORBO, A. (1998). El proceso culinario de fritura y el uso del aceite de oliva en el mismo. Recuperado el 30 de Enero de 2011, de <http://www.economíaandaluza.es/es/sites/default/files/capitulo%2010.pdf> Capitulo:

LUCAS, A., & et. al. (2011). EVALUACIÓN DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD DURANTE LA FRITURA DE REBANADAS DE PAPA CRIOLLA. *Scientia et Technica* .

MASTROCOLA, D. &. (1991). Colorimetric measurements of enzymatic and nonenzymatic browning in apple purees. *International of Food Science* . , (3) 219-229.

MATH, R. G. (2004). Effect of frying conditions on moisture, fat and density of papad. *Journal of Food Engineering* , 64(429-434).

MEHTA, U., & SWINBUM, B. (2001). A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Critical Reviews in food science and nutrition* .

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (Marzo de 2006). La Cadena Productiva del plátano. Recuperado el Julio de 15 de 2010, de Una mirada global de su estructura y dinámica: www.agrocadenas.gov.co

Mireia, H. (2007). Estudio del Efecto de la Temperatura de Coccion en la Caliadad Nutricional y la Textura En un Producto de V Gamaesterilizadoa Partir de Judia Verde. Barcelona .

MOREIRA, R. G. (2001). Deep - fat frying of foods. J. Irudayaraj, Food processing operations modelling .

MOREIRA, R., & et. al. (1999). Deep - fat frying fundamentals and applications. Aspen publisher Inc. Gaithers burg. 350p.

MOREIRA, R., & PALAU, J. &. (1995). Deep- fat frying of tortilla chips - an engineering approach. Food Tecnology , 49:146-150.

MOREIRA, R., & PALAU, J. S. (April de 1995). Deep-fat frying of tortilla chips: An engineering approach. Food Technology , 146-150.

MOREIRA, R., PALAU, J., & SUN, X. (April de 1995). Deep-fat frying of tortilla chips: An engineering approach. Food Technology.

MOYANO, P. C., & PEDRESCHI, F. (2006). Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. LWT - Food Science and Technology , 39, 285-291.

MULET, A. (1994). Drying modelling and Water Diffusivity in Carrots and Potatoes Journal of Food Engineering, 22, 329-348.

NGADI. (1997).

NIELSEN, J. (2004). Microbial process kinetics. Basic Biotechnology. Cambridge University Press. Cambridge, England.

NIELSEN, S. (2003). Food Analysis Laboratory Manual; Klower Academic/Plenum Publishers. Nueva York.

NOLLET, L. M., & DEKKER, M. (1996). Analysis, Handbook of Food. Nueva York.
ORTIZ, R. (2001). www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/.../14385.
Recuperado el 9 de Octubre de 2011, de <http://www.pronatta/proyectos/pdf/981411033fri.doc>

PEDRESCHI, F., & MOYANO, P. (2005 a). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* , 38, 599-604.

PERKINS, E. G. (1996). Volatile odor and flavor components formed in deep frying. In: *Deep Frying, Chemistry, Nutrition, and Practical Applications* (Perkins, E. G. & Erickson, M. D., eds.). AOCS Press, Champaign, Illinois.

PINTHUS, E. J., & et. al. (1995). Oil uptake in deep fat frying as affected by pososity. *Journal of food Science* , 60 (4), 767-769.

PINTHUS, E., & et. al. (1993). Criterion for oil uptake during deep-fat frying. *Journal of food Science* , 58:204.

POKORNY, J. (1999). Chapitre 4. Changes of nutrients at frying temperatures. In: *Frying of Food. Oxidation, Nutrient and Non-Nutrient Antioxydants, Biologically Active Compounds and High Temperatures* (Boskou, D. & Elmadfa, I., eds.), Technomic Publishing Company, Inc., Lanca.

PROTHON, F. (2003). Combined dehydration methods. From fresh fruit to high-quality ingredients. . Lund, , Ph.D. Thesis. Lund University, Sweden.

RESTREPO TORO, L. F. (31 de Enero de 2002). Informe final de gestión del año 2002 de la coordinación nacional de la Cadena del plátano. Recuperado el 19 de Febrero de 2011, de <http://books.google.com.co/books?id=z7xMUgMVyYUC&pg=PA39&lpg=PA39&dq=informe+final+de+gestion+del+a%C3%B1o+2002+de+la+coordinacion+nacional+de+la+cadena+productiva+del+platano&source=bl&ots=tAWbFUX7Xu&sig=MgmfzZxPTDZWABJguINDuU4MGGM&hl=es&ei=YODoTs>

ROBLES DÁVILA, K. (2007). Harina y producto de plátano.

Rodríguez. (1999). Caracterización del proceso de fritura de chips de yuca.

RODRIGUEZ, C., & VITRAC, O. &. (1999). Caracterización del proceso de fritura de chips de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Estudio de algunas variables del proceso. *Geo tropica. Revista del área de recursos naturales* , 4, 68 - 79.

ROSAS, L., & PEPINOSA, A. (2009). Desarrollo de la fase descriptiva e investigativa para la elaboración de la línea base del sector agroindustrial para la Secretaría de Agricultura del Departamento de Nariño. San Juan de Pasto: Empresa Editora de Nariño.

Ross, K. A. (2004). A fracture mechanics analysis of the texture of fried potato crust. *ELSERVIER* , 417-423.

SAGUY, I. &. (April de 1995). Oil uptake during deep - fat frying: Factors and mechanism. *Food Technology*.

SAGUY, I. S. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56 : 143 - 152.

SAHIN, S. (2000). Effect of frying parameters on the colour development of fried potatoes. . *European Food Research and Technology* , 211, 165-168.

SAHIN, S., & GÜLÜM, S. (2009). *Advances in Deep - fat frying of foods*.

SAHIN, S., & SASTRY, S. y. (1999 b). Heat transfer during frying of potato slices. *Lebensmittel wissenschaft und technologie*.

SEMANA. (2009). SEMANA .

SHARMA, S. M., & RIZVI, S. (2003). *Ingeniería de alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. México D.F.: LIMUSA de C.V.

SHARMA, S., & et. al. (2003). *Ingeniería de alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. México D.F.: LIMUSA S.A. de C.V.

SIMAL, S., & ROSSELLÓ, C. &. (1998b). Modelling of air drying in regular shaped bodies. *Trends in Chemical Engineering* , 4, 171-180.

SINGH, R. P. (2000). Moving Boundaries in Food Engineering. Food Technology , 54(2), 44-53.

STIER, R. (2004). Frying as a science- an introduction. Journal of lipid science and technology , 106,715-721.

TAKEOKA, G. R., & FULL, G. H. (1997). Effect of Heating on the Characteristics and Chemical Composition of Selected Frying Oils and Fats. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45 : 3244 - 3249.

VARELA, G. (1988). Current facts about the frying of food in frying of food: Principles, changes. New approaches: Ellis Horwood Ltd. Chichester.

VILLAMIZAR VARGAS, R. H. (2010). Obtención y caracterización de un pasabocas a partir de una pasta a base de mango mediante fritura por inmersión. Revista Tumbaga , | 5 | 149-164.

VITRAC, O., & et. al. (2000). Deep-fat frying of food:heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. European Journal of Lipid Science and Technology , 102, 529.

YAMSAENGSUNG, R., & MOREIRA, R. G. (2002 a). Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part I. Model development. Journal of Food Engineering , 53, 1-10.

YAMSAENGSUNG, R., & MOREIRA, R. G. (2002 b). Modelling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part II. Model solution & Validation. Journal of food engineering , 53, 11-25.

ZALAZAR, & PULIDO. (2004). Estadística aplicada. McGraw Hill. 101.

ANEXOS

Anexo A. Determinación del índice de madurez de la materia prima de estudio.

$$\text{Índice de madurez (IM)} = \frac{\text{Brix}}{\text{Acidez}}$$

Datos:

Azúcares: 10°Brix

Peso muestra: 8,33 gramos

Volumen NaOH: 4,6ml

Normalidad: 0,1N

Miliequivalentes de ácido maléico: 67,045 g/mol/1000

- **Determinación de acidez**

$$\% \text{ácido maléico} = \frac{(\text{ml NaOH}) (N \text{ NaOH})(\text{meq. Ac. maléico})}{W_{\text{muestra}}} * 100$$

$$\% \text{ácido maléico} = \frac{4,6 \text{ml} * 0,1 \text{N} * 0,067045 \text{g/mol} * 100}{8,33 \text{g}}$$

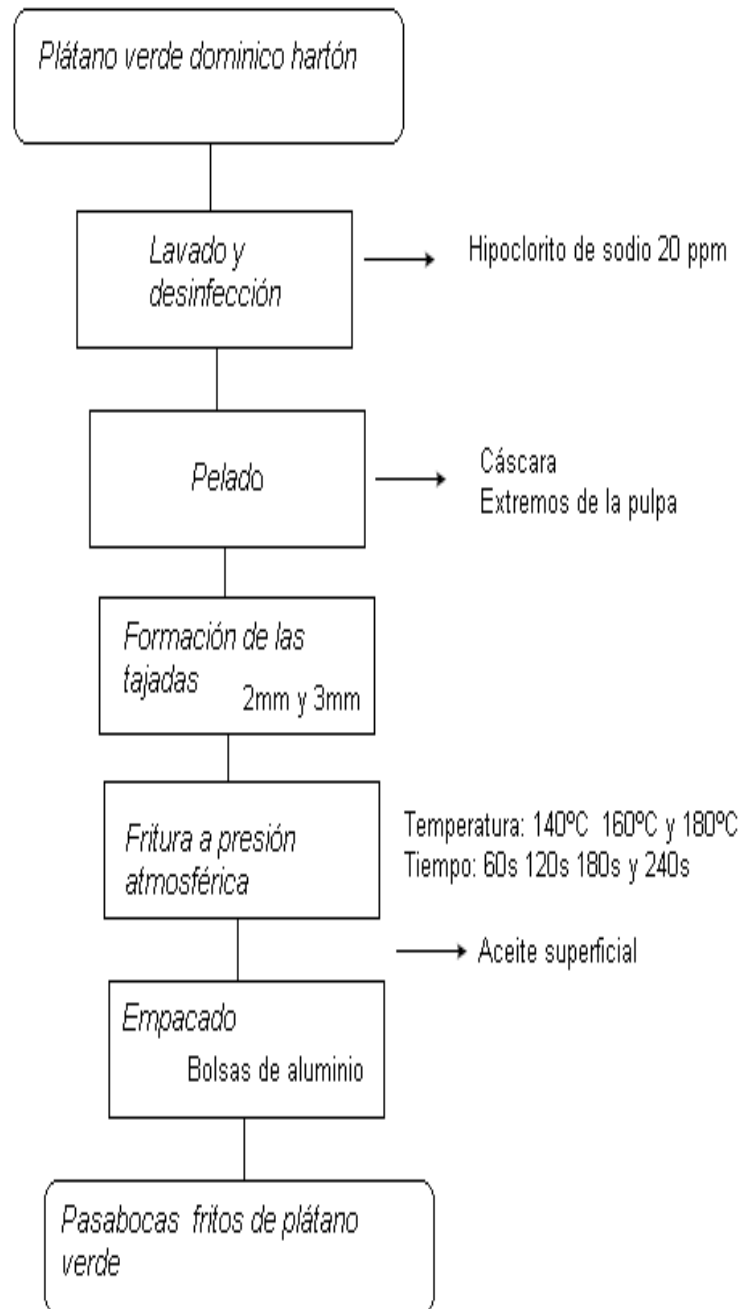
$$\% \text{ácido maléico} = 0,3702$$

- **Índice de madurez**

$$\text{IM} = \frac{10}{0,3702}$$

$$\text{IM} = 27,01$$

Anexo B. Diagrama de proceso de la fritura de pasabocas de plátano verde variedad dominico hartón



Anexo C. Características fisicoquímicas del aceite utilizado para el proceso de fritura (Aceite Frytol)

- **Determinación de la densidad del aceite:** La densidad del aceite se calculó utilizando el método del picnómetro, para lo cual se hizo necesario conocer el peso de este, sin el fluido, luego se midió el peso del mismo con el aceite; en seguida, se fijo el volumen del picnómetro utilizado, para finalmente por diferencia de masas y el cociente del volumen obtener la densidad requerida.

Datos

Picnómetro vacío: 19,7953 gramos
 Picnómetro lleno: 43,2120 gramos
 Volumen del picnómetro: 25 ml.

$$\rho = \frac{M1 - M2}{V}$$

V

Donde:

M1: Peso del picnómetro + muestra

M2: Peso picnómetro vacío

V: Volumen del picnómetro

$$\rho = \frac{43,2120 \text{ g} - 19,7953 \text{ g}}{25 \text{ ml}}$$

$$\rho = 0,93 \text{ g/ml a } 20^{\circ}\text{C}$$

- **Análisis del aceite frytol:** Los resultados del análisis fisicoquímico del fluido a utilizarse, se reportan a continuación:

UNIVERSIDAD DE NEIVA		SECCIÓN DE LABORATORIOS		Código: LECRES-PR-02	
		REPORTES DE RESULTADOS LABORATORIO BROMATOLOGÍA		Página: 1 de 1	
				Versión: 1	
				Figueroa a partir de: 26/04/2010	
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		Reporte No. LB-R-001-11	
Solicitante: Eden E. Ruiz Zaldano, S		Muestra: aceite vegetal Marca Frytol		Código MC: 371	
Dirección: Nº 52 Casa 10		Procedencia: Bogotá			
C.C / N.E: 32.750.481		Fecha de Muestreo: 03 26 MM 05 AA 11			
Teléfono: 7223348		Fecha Recepción Muestra: 03 26 MM 05 AA 11			
E-mail: edenuz@focomas.com		Fecha Reporte: 03 31 MM 05 AA 11			
E-mail:		FISICOQUÍMICO			
ANÁLISIS SOLICITADO					
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	LIMITES DE REFERENCIA	Aceite Vegetal
Humedad	NTC 267	Termogravimétrica	g/100g	-	0
Acidez	NTC 218	Volumétrica	g/100g	-	0
Índice de Peróxido	NTC 236	Volumétrica	ml/100ml	-	2,70
Materia Inaprovechable	NTC 235-1	Gravimétrica	g/100g	-	1,78
Identificación Aceite Mineral	NTC 400	Cualitativa	-	-	negativo
Identificación Jabón Residual	NTC 1147	Cualitativa	-	-	negativo
OBSERVACIONES					
RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.					

Tec. Labor. Bromatología

Eden E. Ruiz

21/05/2011

Anexo D. Cálculo de la relación

producto/ aceite a fritar

Relación producto/aceite 1

Volumen del aceite: 4 litros

Densidad el aceite: 0,93

Relación producto/aceite: $0,5/80 = 0,00625$

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Ahora, } m_{\text{aceite}} = \rho_{\text{aceite}} * V_{\text{aceite}}$$

$$m_{\text{aceite}} = 0,93 \text{ g/ml} * 4000 \text{ ml}$$

$$m_{\text{aceite}} = 3720 \text{ g}_{(m)}$$

Como: $0,5/80 = \frac{\text{gramos de producto}}{\text{gramos de aceite}}$

$$0,00625 = \frac{\text{gramos de producto}}{\text{gramos de aceite}}$$

Como: $1/80 = \frac{\text{gramos de producto}}{\text{gramos de aceite}}$

$0,0125 = \frac{\text{gramos de producto}}{\text{gramos de aceite}}$

$$\rightarrow m_{\text{producto}} = 3720 \text{ g}_{(m)} * 0,0125$$

$$m_{\text{producto}} = 46,5 \text{ g}_{(m)}$$

gramos de aceite

$$\rightarrow m_{\text{producto}} = 3720 \text{ g}_{(m)} * 0,00625$$

$$m_{\text{producto}} = 23,25 \text{ g}_{(m)}$$

Relación producto/aceite 2

Volumen del aceite: 4 litros = 4000ml

Densidad del aceite: 0,93 g/ml

Relación producto /aceite: $1/80 = 0,0125$

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Ahora, } m_{\text{aceite}} = \rho_{\text{aceite}} * V_{\text{aceite}}$$

$$m_{\text{aceite}} = 0,93 \text{ g/ml} * 4000 \text{ ml}$$

$$m_{\text{aceite}} = 3720 \text{ g}_{(m)}$$

Anexo E. Determinación de la cantidad de solvente y producto para extracción de grasa por método soxhlet

Datos:

Volumen del solvente: 100ml

Densidad del solvente: 0,65 g/ml

Relación producto /solvente: $1/6 = 0,16$

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$$

Ahora, $m_{\text{solvente}} = \rho_{\text{solvente}} * V_{\text{solvente}}$

$$m_{\text{solvente}} = 0,65 \text{ g/ml} * 100 \text{ ml}$$

$$m_{\text{solvente}} = 65 \text{ g}_{(m)}$$

como: $1/6 = \frac{\text{gramos de producto}}{\text{gramos de solvente}}$

$$0,16 = \frac{\text{gramos de producto}}{\text{gramos de solvente}}$$

$$\rightarrow m_{\text{producto}} = 65 \text{ g}_{(m)} * 0,16$$

$$m_{\text{producto}} = 10,4 \text{ g}_{(m)}$$

Anexo F. Matriz general de los tratamientos

Dónde:

Temperatura	código
140°C	1
160°C	2
180°C	3

Tiempo	código
60s	1
120s	2
180s	3
240	4

Grosor	código
2mm	1
3mm	2

Relación Aceite-producto	código
0,5/80	1
1/80	2

TEMPERATURA	TIEMPO	GROSOR	RELACION	TRATAMIENTO
1	1	1	1	1111
1	1	1	2	1112
1	1	2	1	1121
1	1	2	2	1122
1	2	1	1	1211
1	2	1	2	1212
1	2	2	1	1221
1	2	2	2	1222
1	3	1	1	1311
1	3	1	2	1312
1	3	2	1	1321
1	3	2	2	1322
1	4	1	1	1411
1	4	1	2	1412
1	4	2	1	1421
1	4	2	2	1422

TEMPERATURA	TIEMPO	GROSOR	RELACION	TRATAMIENTO
2	1	1	1	2111
2	1	1	2	2112
2	1	2	1	2121
2	1	2	2	2122
2	2	1	1	2211
2	2	1	2	2212
2	2	2	1	2221
2	2	2	2	2222
2	3	1	1	2311
2	3	1	2	2312
2	3	2	1	2321
2	3	2	2	2322
2	4	1	1	2411
2	4	1	2	2412
2	4	2	1	2421
2	4	2	2	2422
3	1	1	1	3111
3	1	1	2	3112
3	1	2	1	3121
3	1	2	2	3122
3	2	1	1	3211
3	2	1	2	3212
3	2	2	1	3221
3	2	2	2	3222
3	3	1	1	3311
3	3	1	2	3312
3	3	2	1	3321
3	3	2	2	3322
3	4	1	1	3411
3	4	1	2	3412
3	4	2	1	3421
3	4	2	2	3422

Anexo G. Pruebas de múltiples rangos. Método: 95% Tukey HSD

a) Factor L*

GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	72	58,6037	0,0427491	X
2	72	58,9292	0,0427491	X
RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	72	57,1262	0,0427491	X
2	72	60,4067	0,0427491	X
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	48	54,5662	0,0523568	X
2	48	58,2638	0,0523568	X
1	48	63,4694	0,0523568	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	36	50,8192	0,0604564	X
3	36	54,45	0,0604564	X
2	36	61,1125	0,0604564	X
1	36	68,6842	0,0604564	X

Fuente: Esta Investigación

b) Factor a*

GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	5,83292	0,0154653	X
1	72	6,02403	0,0154653	X
RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	5,52486	0,0154653	X
1	72	6,33208	0,0154653	X
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	48	4,85687	0,018941	X
2	48	6,15167	0,018941	X
3	48	6,77688	0,018941	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	5,74639	0,0218712	X
2	36	5,8625	0,0218712	X
3	36	5,98917	0,0218712	X
4	36	6,11583	0,0218712	X

Fuente: Esta Investigación

c) Factor b*

GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	44,1429	0,125844	X
1	72	44,3158	0,125844	X
RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	42,8296	0,125844	X
1	72	46,2292	0,125844	X
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	48	40,5856	0,154127	X
2	48	44,945	0,154127	X
3	48	48,0575	0,154127	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	31,4175	0,177971	X
2	36	40,7383	0,177971	X
3	36	52,5	0,177971	X
4	36	53,4617	0,177971	X

Fuente: Esta Investigación

d) Comportamiento de ΔE

GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	27,5903	0,138952	X
1	72	27,3885	0,138952	X
RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	25,7163	0,138952	X
1	72	30,2625	0,138952	X
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	48	22,1731	0,170181	X
2	48	28,5735	0,170181	X
3	48	33,2215	0,170181	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	11,8228	0,196508	X
2	36	23,52	0,196508	X
3	36	36,8744	0,196508	X
4	36	39,7403	0,196508	X

e) Textura

RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	54	7,39361	0,0374388	X
1	54	7,95217	0,0374388	X
GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	54	6,41206	0,0374388	X
2	54	8,93372	0,0374388	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	36	6,68533	0,045853	X
3	36	7,6235	0,045853	X
2	36	8,70983	0,045853	X
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	48	0,0806981	0,000004419	X
2	48	0,0945419	0,000004419	X
1	48	0,10814	0,000004419	X

Fuente: Esta Investigación

f) Humedad

RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	0,0916296	0,000003608	X
1	72	0,0972904	0,000003608	X
GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	72	0,0720467	0,000003608	X
2	72	0,116873	0,000003608	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	36	0,0420633	0,000005103	X
3	36	0,0500767	0,000005103	X
2	36	0,084005	0,000005103	X
1	36	0,201695	0,000005103	X
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	36	7,11483	0,045853	X
2	36	7,69158	0,045853	X
1	36	8,21225	0,045853	X

Fuente: Esta Investigasse

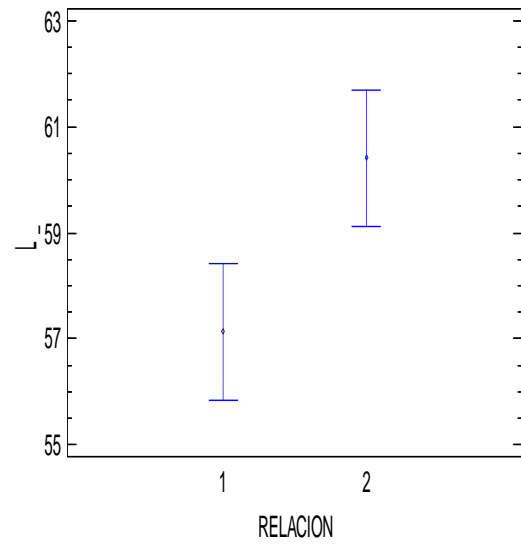
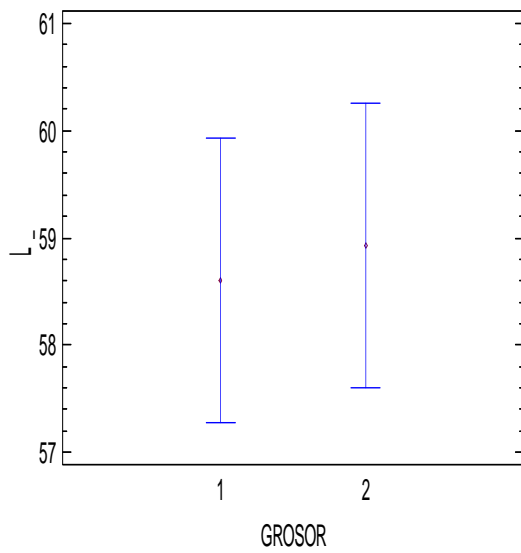
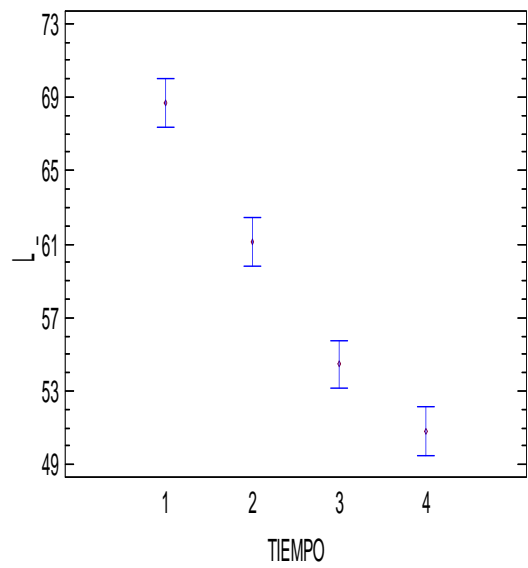
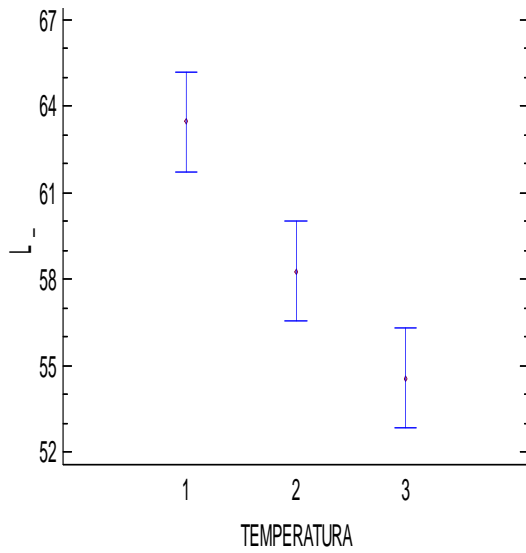
g) Grasa

TEMPERAT URA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	48	0,20270 6	0,0000555 76	X
2	48	0,22353 1	0,0000555 76	X
3	48	0,24332 9	0,0000555 76	X
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	0,16686 5	0,0000641 74	X
2	36	0,23511 3	0,0000641 74	X
3	36	0,24237 7	0,0000641 74	X
4	36	0,2484	0,0000641 74	X
RELACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	72	0,21574 9	0,0000453 77	X
2	72	0,23062 9	0,0000453 77	X
GROSOR	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	72	0,19759 3	0,0000453 77	X
1	72	0,24878 4	0,0000453 77	X

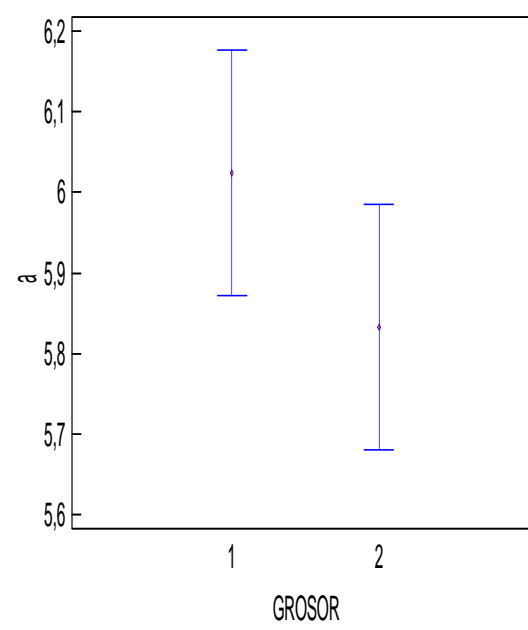
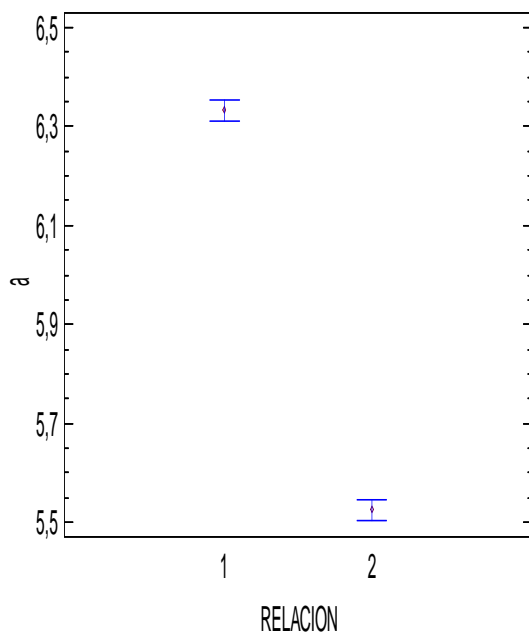
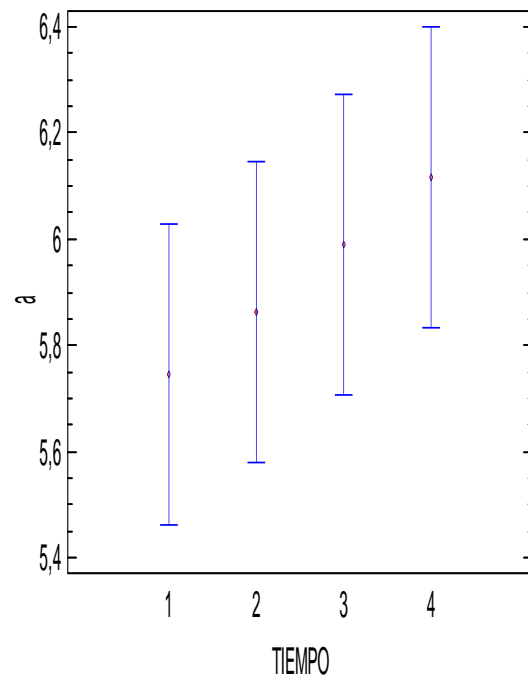
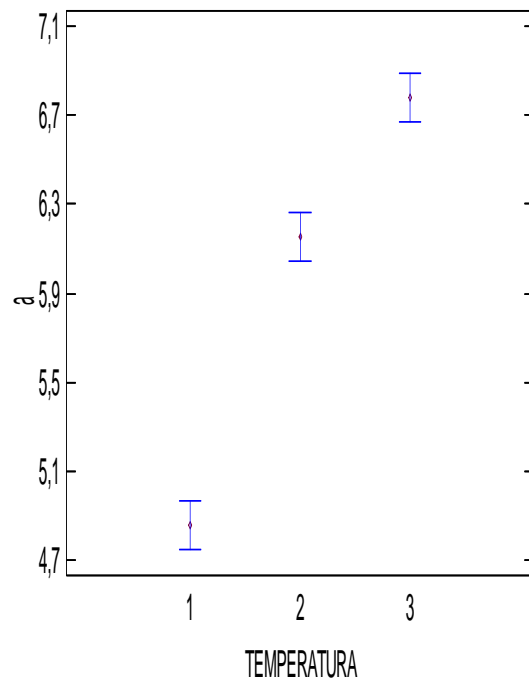
Fuente: Esta Investigación

**Anexo H. Gráficas de medias para las variables que influyen en el color.
Método: Tukey HSD. 95%**

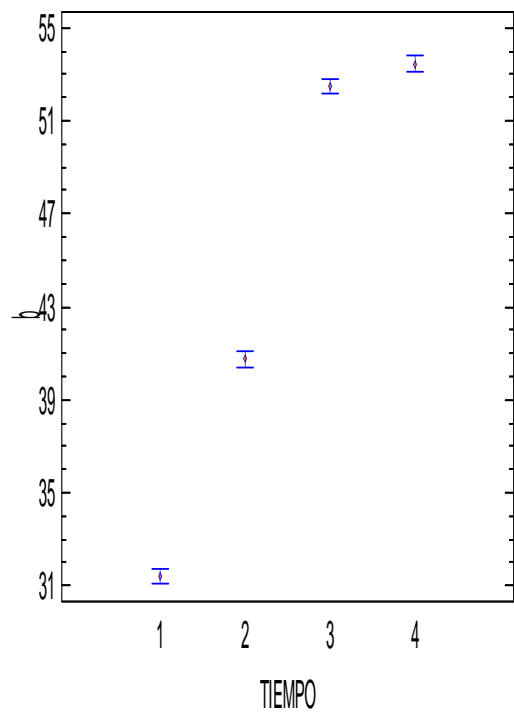
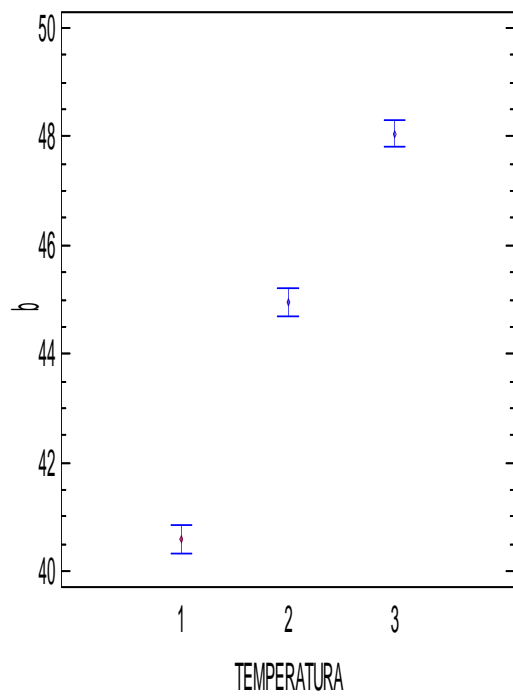
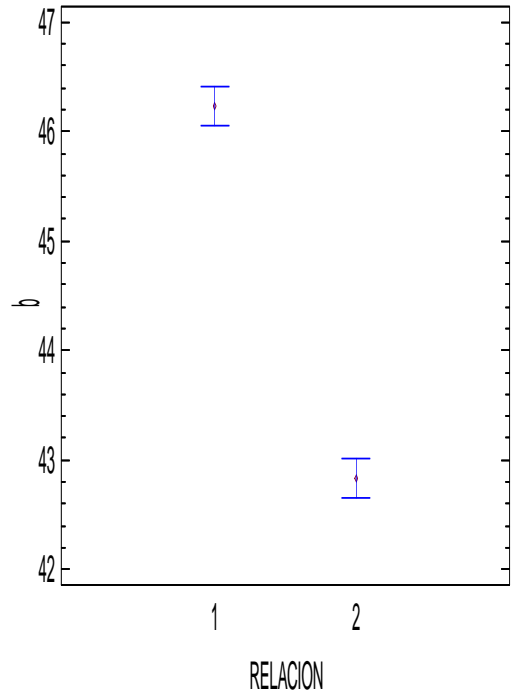
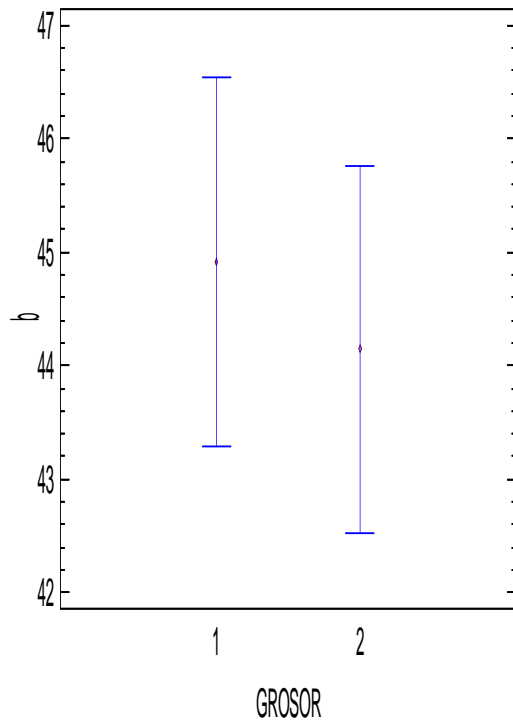
a) Factor L^*



b) Factor a*

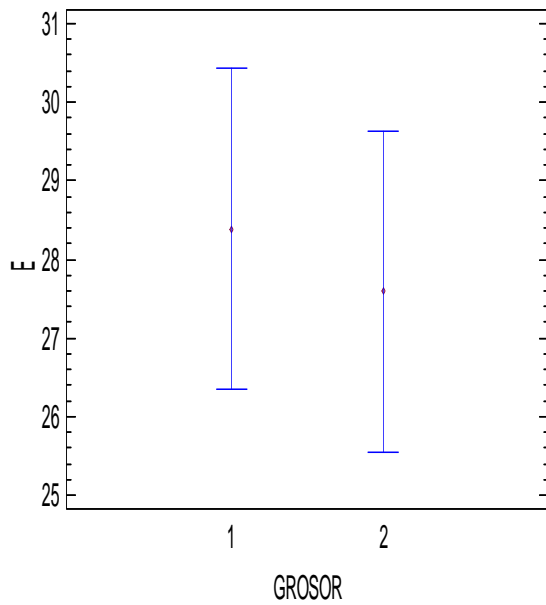


c) Factor b^*

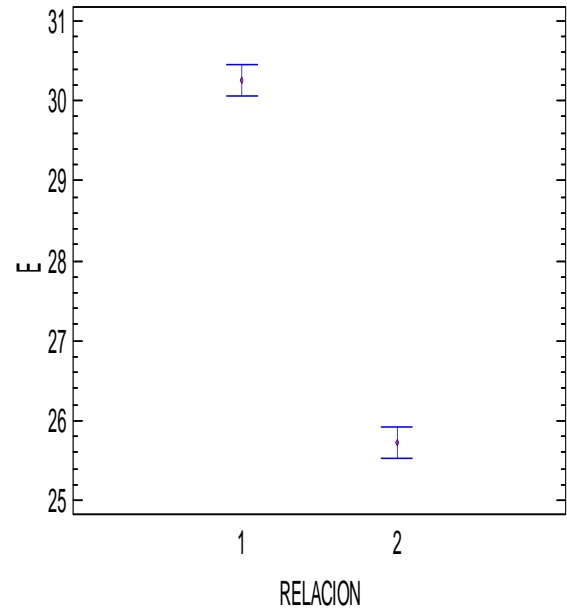


d) Diferencia de color ΔE

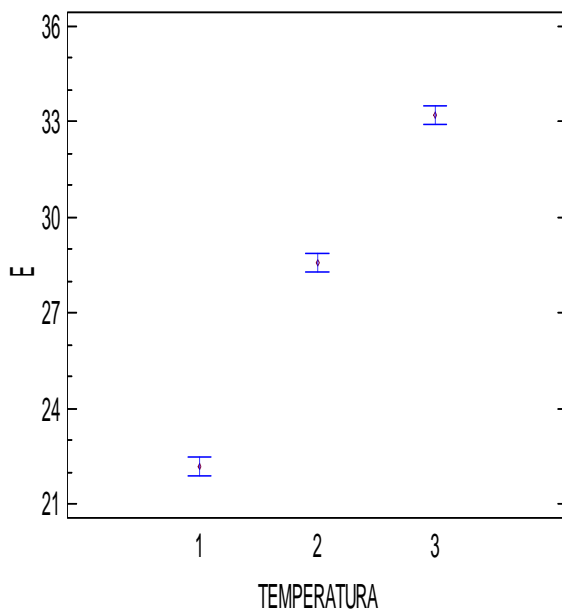
Medias y 95,0% de Tukey HSD



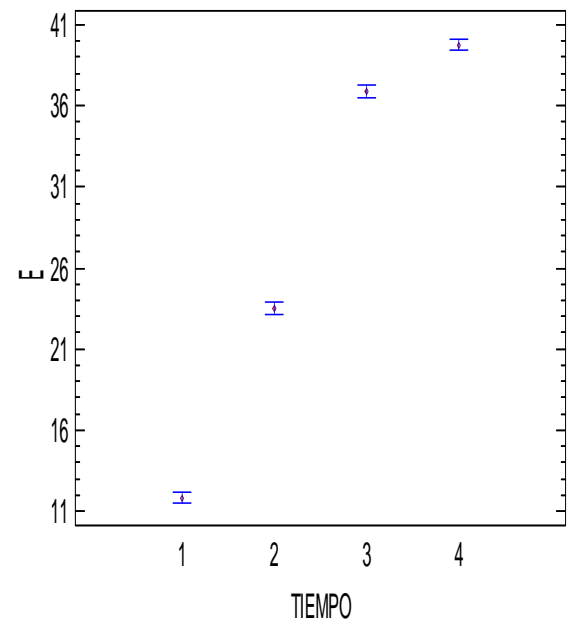
Medias y 95,0% de Tukey HSD



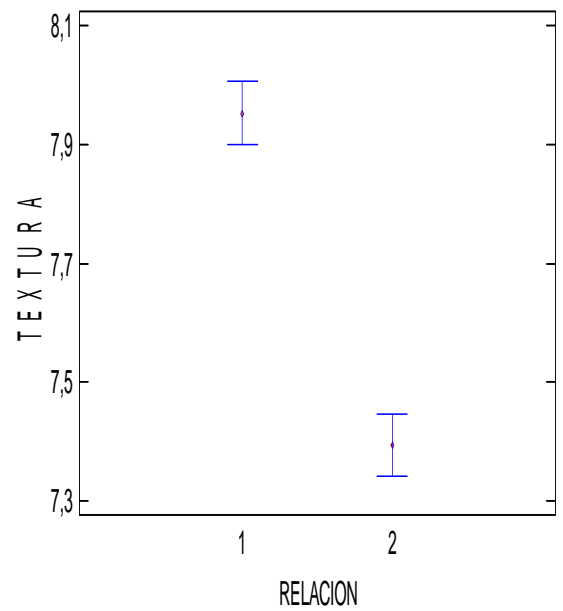
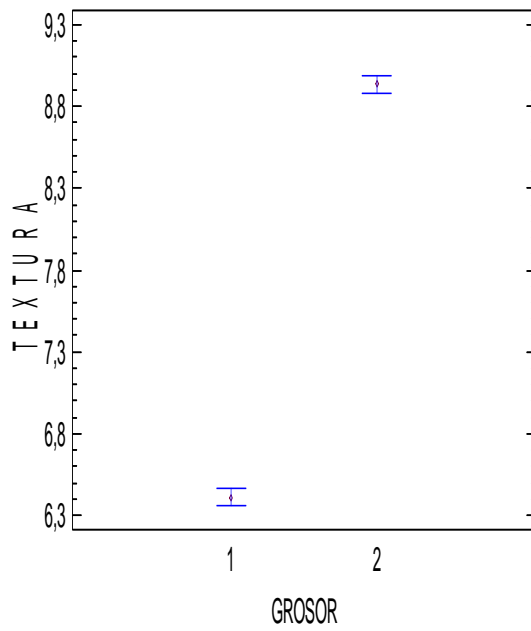
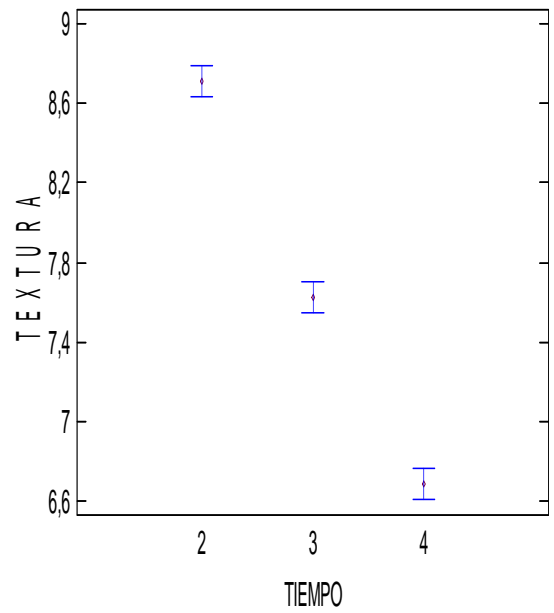
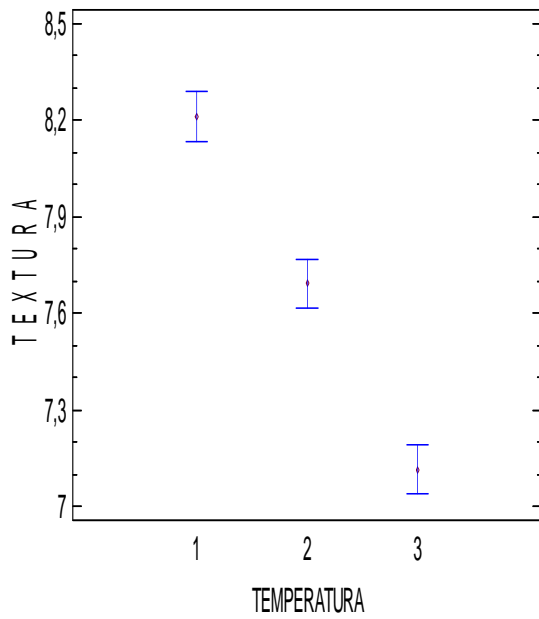
Medias y 95,0% de Tukey HSD



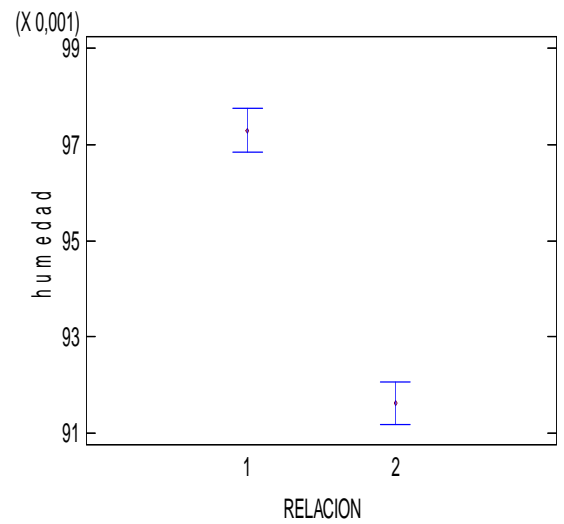
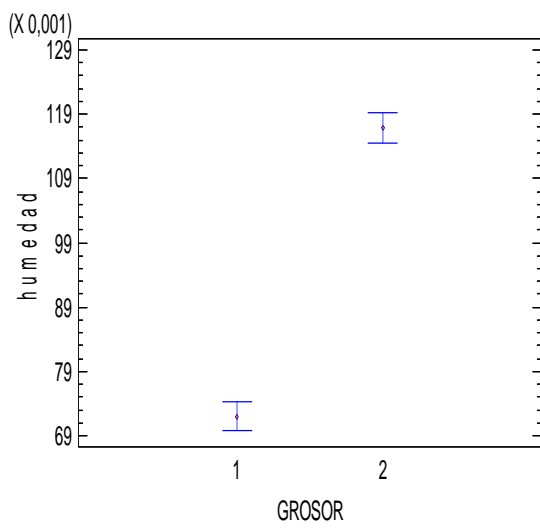
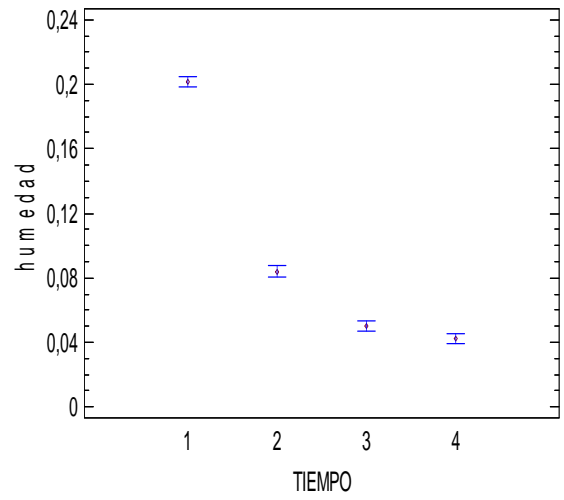
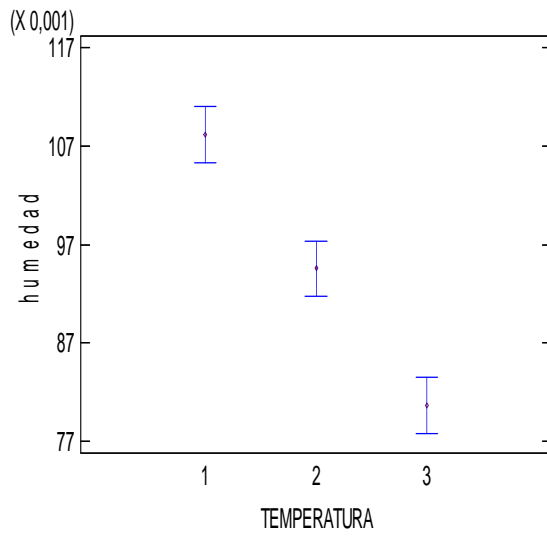
Medias y 95,0% de Tukey HSD



e) Textura



f) Humedad



g) Grasa

