

1-1-2005

Determinación del coeficiente de conductividad térmica (k) en dos variedades de plátano: Hartón y Dominico hartón, en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), y el coeficiente de transmisión de calor por convección (h) en función de la forma del producto y las propiedades del fluido

Andrea Paola Gutiérrez Romero
Universidad de La Salle, Bogotá

Dahlia Marcela Hernández Poveda
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos

Citación recomendada

Gutiérrez Romero, A. P., & Hernández Poveda, D. M. (2005). Determinación del coeficiente de conductividad térmica (k) en dos variedades de plátano: Hartón y Dominico hartón, en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), y el coeficiente de transmisión de calor por convección (h) en función de la forma del producto y las propiedades del fluido. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/396

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería de Alimentos by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Determinación del coeficiente de conductividad térmica (k) en dos variedades de plátano: Hartón y Dominico hartón, en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), y el coeficiente de transmisión de calor por convección (h) en función de la forma del producto y las propiedades del fluido.

ANDREA PAOLA GUTIÉRREZ ROMERO

DAHLIA MARCELA HERNÁNDEZ POVEDA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ D. C.

2005

Determinación del coeficiente de conductividad térmica (k) en dos variedades de plátano: Hartón y Dominico hartón, en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), y el coeficiente de transmisión de calor por convección (h) en función de la forma del producto y las propiedades del fluido.

ANDREA PAOLA GUTIÉRREZ ROMERO

DAHLIA MARCELA HERNÁNDEZ POVEDA

Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero de Alimentos

Director.

LUCILA GUALDRON
Ingeniera Química MsC

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ D. C.

2005.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por darnos salud, sabiduría y fortaleza; por su guía en los caminos difíciles y enseñarnos a afrontar y superar los obstáculos día a día, para así poder lograr nuestros sueños, compromisos y metas.

A NUESTRA FAMILIA, por brindarnos su amor, buenos consejos, dedicación y compañía en los momentos difíciles sin dejarnos desfallecer; por su constante apoyo y esfuerzo durante el transcurso de la carrera para lograr nuestras ilusiones, propósitos y metas.

A la profesora y directora LUCILA GUALDRON; por su confianza, su guía, apoyo y colaboración durante el desarrollo de la investigación.

A la profesora LUZ MIRIAM MONCADA, por acompañarnos en el transcurso del trabajo brindándonos su asesoría, orientación, sabios y profesionales consejos.

A BLANCA USECHE, por su paciencia, colaboración y orientación profesional.

A la Dra PATRICIA JIMÉNEZ DE BORRAY, por su excelente desempeño dentro de la facultad; por su guía, apoyo incondicional y constante esfuerzo para que todos logremos nuestros objetivos personales, académicos y profesionales.

Al personal de Planta Piloto, por brindarnos las herramientas necesarias que permitieron el buen desarrollo de la investigación.
.....y a todos aquellos que estuvieron presentes durante este proceso e hicieron posible la culminación de una etapa de nuestra vida.!!!!

ANDREA Y DALIA.

TABLA DE CONTENIDO.

	Pag.
INTRODUCCION	
OBJETIVOS	
FORMULACION DEL PROBLEMA	
NOMENCLATURA	
1. MARCO TEÓRICO	16
1.1. Plátano	16
1.1.1. La Cadena de plátano en Colombia	16
1.1.1.1. Producción regional	17
1.1.1.2. La producción y comercialización de plátano en el mundo.	19
1.2. DESCRIPCIÓN DEL FRUTO	21
1.2.1. PLÁTANO HARTÓN.	22
1.2.1.1 Valor nutricional del plátano Hartón.	24
1.2.2. PLÁTANO DOMINICO HARTÓN	24
1.2.2.1. Comportamiento post-cosecha del fruto de plátano Dominico hartón.	25
1.3. MADURACIÓN DE LA FRUTA	27
1.3.1. Cambios que pueden ocurrir durante la maduración	28
1.3.2. Transformación del almidón en azúcar	30
1.3.3. Métodos para la determinación del índice de madurez.	30

1.4.	PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS ALIMENTOS	31
1.5.	TRANSFERENCIA DE CALOR	32
1.5.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN	33
1.5.1.1.	Conducción de calor en régimen transitorio	34
1.5.2	CONDUCTIVIDAD TERMICA (k)	37
1.5.3.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	37
1.5.3.1.	Convección natural	39
1.6.	COCCIÓN POR INMERSIÓN	43
1.6.1.	Tiempo de cocción	44
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.	45
2.1.	HERRAMIENTA ESTADÍSTICA	45
2.2.	PRE-EXPERIMENTACIÓN.	46
2.2.1.	Selección y adquisición del producto.	46
2.2.2.	Definición de forma y tamaño de las muestras.	46
2.2.3.	Caracterización del producto en el proceso de maduración.	50
2.2.4.	Codificación de la muestras.	50

2.2.5.	Numero de muestras por ensayo	51
2.2.6.	Condiciones del fluido y del proceso de cocción.	51
2.2.7.	Resultados y análisis de resultados de la fase pre - experimental	52
2.3.	EXPERIMENTAL	56
2.3.1.	Preparación de las muestras.	56
2.3.2.	Condiciones del fluido de cocción	57
2.3.3.	Determinación del Coeficiente de transmisión de calor (h).	59
2.3.4.	Coeficiente de Conductividad térmica k	60
2.3.5.	Resultados y análisis de resultados experimentales	61
2.3.5.1.	Condiciones del fluido y del proceso de cocción.	61
2.3.5.2.	Definición de forma y tamaño de las muestras.	61
2.3.5.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	66
2.3.5.3.1.	Índice de madurez °Brix.	66
2.3.5.3.2.	Tiempo de cocción por inmersión	69
2.3.5.3.3.	Temperatura de cocción del plátano por inmersión en agua.	72

2.3.6	Cálculos de los coeficientes de transferencia de calor k	78
2.3.6.1.	Calculo del coeficiente de transmisión de calor (h).	79
2.3.6.2.	Calculo del coeficiente de conductividad térmica k.	81
2.3.6.2.1.	Calculo tipo del coeficiente de conductividad térmica k para el producto en cilindros.	83
2.3.6.2.	Análisis estadístico para el coeficiente de conductividad térmica k	84
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA	93
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pàg.
Figura 1. Plátano Hartón	23
Figura 2. Plátano Dominico Hartón	25
Figura 3. Plátano verde	29
Figura 4. Plátano Maduro	29
Figura 5. Cocción por inmersión	44
Figura 6. Plátano en Cilindros	48
Figura 7. Medición de la longitud en cilindros 10 cm.	48
Figura 8. Longitud en discos 2 cm.	49
Figura 9. Plátano en Discos	49
Figura 10. Toma de temperatura central en cilindros.	73
Figura 11. Toma de temperatura central en discos.	73
Figura 12. Dirección de la transferencia de calor en el plátano.	82

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Distribución y la participación de la producción de plátano a nivel nacional.	18
Tabla 2. Área, producción y rendimiento por país.	19
Tabla 3. Principales países exportadores a nivel mundial (Ton)	21
Tabla 4. Clasificación del plátano según su peso.	22
Tabla 5. Composición Del Plátano Fresco Crudo Hartón Verde y maduro (Valores En Porcentaje).	24
Tabla 6. Composición química de la pulpa del fruto de plátano dominico hartón durante la maduración.	27
Tabla 7. Dimensión característica para discos y cilindros.	42
Tabla 8. Tamaño del producto para discos y cilindros.	47
Tabla 9. Escala de clasificación del plátano por estado de madurez	50
Tabla 10. Numero de muestras por ensayo fase pre-experimental.	51
Tabla 11. Numero de muestras por ensayo fase experimental.	56
Tabla 12. Calculo del p valor por análisis de varianza (F) para °Brix del plátano.	66

Tabla 13.	Comparación de los grados °Brix para plátano Hartón y Dominico Hartón en sus tres estados de madurez disco y cilindros.	68
Tabla 14.	Comparación por Test de Tukey del tiempo en función de la variedad.	70
Tabla 15.	Calculo del p valor por análisis de varianza (F) para plátano.	71
Tabla 16.	Comparación por Test de Tukey del tiempo en función de la forma cilindros y discos.	72
Tabla 17.	Tiempo experimental de cocción por inmersión para discos y cilindros.	72
Tabla 18.	Calculo del p valor por análisis de varianza (F) para discos y cilindros.	74
Tabla 19.	Comparación de la temperatura por prueba de Tukey en función de la forma cilindros y discos.	75
Tabla 20.	Temperatura (°C) de cocción por inmersión para la forma y variedad.	75
Tabla 21.	Comparación de la temperatura por prueba de Tukey en función del estado de madurez.	77
Tabla 22.	Tiempo y Temperatura de Cocción para el plátano en dos formas.	78
Tabla 23.	Temperatura de Cocción para el plátano en dos estados de madurez.	78

Tabla 24.	Propiedades físicas del fluido de cocción a la temperatura de película ($T_p = 56^\circ\text{C}$).	79
Tabla 25.	Calculo del p valor por análisis de varianza (F) k F_o).	85
Tabla 26.	Coeficiente de conductividad térmica en función de dos estados de madurez para el plátano Hartón y Dominico Hartón a 20°C .	86
Tabla 27.	Coeficiente de conductividad térmica para dos estados de madurez plátano Hartón y Dominico Hartón a 20°C .	86
Tabla 28.	Datos interpolados de Biot a partir de k.	88

ÍNDICE DE GRAFICAS

	Pàg
Grafica 1. Cinco mayores productores de plátano a nivel mundial.	20
Grafica 2. Relación tiempo Vs temperatura para discos en los 3 estados de madurez y las dos variedades	53
Grafica 3. Relación tiempo Vs temperatura para cilindros en los 3 estados de madurez y las dos variedades	54
Grafico 4. Comportamiento del máximo y mínimo valor de longitud para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez	62
Grafico 5. Comportamiento del máximo y mínimo valor de diámetro para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez	64
Grafico 6. Comportamiento del máximo y mínimo valor de peso para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez	65
Grafica 7. Máximo y mínimo valor de ° Brix para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez	69
Grafica 8. Máximo y mínimo valor para el tiempo en las tres variedades, tres estados de madurez y las dos formas del plátano	71
Grafica 9. Máximo y mínimo valor para la temperatura en las 3 variedades, 3 estados de madurez y las dos formas del plátano	76
Grafica 10. Máximo y mínimo valor del valor de k (W/m°C) obtenido por el método de Fourier	87

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO 1. Coeficientes usados en la solución aproximada de un término de la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio en paredes planas, cilindros y esferas ($Bi=hL/k$) para una pared de espesor $2L$ y $Bi = hr_o/k$ para un cilindro o una esfera de radio r_o .	95
ANEXO 2. Tratamiento estadístico para los datos experimentales.	96
ANEXO 3. Tratamiento estadístico por el test de Tukey de los grados °Brix para plátano Hartón y Dominico Hartón en sus tres estados de madurez en disco y cilindros.	97
ANEXO 4. Tratamiento estadístico por el test de Tukey para el tiempo en función en tres estados de madurez, y dos variedades.	97
ANEXO 5. Tratamiento estadístico por el test de Tukey del tiempo en función de la forma y variedad.	97
ANEXO 6. Tratamiento estadístico por el test de Tukey del tiempo en función de la forma.	97
ANEXO 7. Tratamiento estadístico para la temperatura de cocción.	98
ANEXO 8. Tratamiento estadístico para la temperatura de cocción en función de la forma y la variedad.	98

ANEXO 9.	Tratamiento estadístico para la temperatura de cocción en función del estado de madurez.	99
ANEXO 10.	Calculo del coeficiente de transmisión de calor h , para cilindros en sus dos estados de madurez.	100
ANEXO 11.	Calculo del coeficiente de transmisión de calor h , para discos en sus dos estados de madurez.	100
ANEXO 12.	Calculo de valor de k ($w/m^{\circ}C$) por Fo para placa plana o discos.	101
ANEXO 13.	Calculo de valor de k ($w/m^{\circ}C$) por Fo para cilindros.	102
ANEXO 14.	Compilado de los valores de k para dos estados de madurez y dos formas.	103
ANEXO 15.	Tratamiento estadístico para el coeficiente de conductividad térmica k en función de la forma.	104
ANEXO 16.	Tratamiento estadístico para el coeficiente de conductividad térmica k obtenido por Fo en función de madurez y la variedad.	105
ANEXO 17	Determinación de Biot a partir de una constante k .	105
ANEXO 18	Determinación de Biot a partir de una constante k .	105
ANEXO 19.	Propiedades del agua saturada.	106

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con AUGURA (Asociación de bananeros de Colombia), en Colombia se cultivan y cosechan cinco variedades de plátano: Dominico, Dominico Hartón, Hartón, Cachaco o Popocho, y Pelipita. El plátano es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas. Los plátanos y otras especies para cocción, se producen a lo largo del trópico húmedo, concentradas fundamentalmente en África, América Latina y el Caribe. Constituyen una importante fuente de carbohidratos y contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas en África, el Caribe, Latinoamérica, Asia y el Pacífico. Las formas de su consumo varían ampliamente entre países, de acuerdo a los hábitos alimenticios. Los sistemas de producción son en su mayoría tradicionales, y se dan frecuentemente en asocio con otro tipo de productos agrícolas, como el café, coco, ñame, entre otros. En algunos países se da el esquema de monocultivo de plantación.

En Colombia podrían identificarse cinco zonas geográficas productoras de plátano: Caribe, Pacífico, Andina e Interandina, Orinoco, y Amazonía. *agrocadenas@iica.org.co*.

Para la presente investigación se eligieron dos variedades de plátano Hartón y Dominico hartón, por ser las más cultivadas y de mayor comercialización en el país; con ellos se determinaron el tiempo y temperatura experimental de cocción por inmersión en agua, para tres estados de madurez y dos formas definidas por la teoría de transferencia de calor. En el desarrollo de la investigación se realizó una fase pre - experimental para definir las condiciones, parámetros de las muestras, así como número de ensayos a realizar, etc. Posteriormente se realizó la experimentación que proporcionó

datos suficientes para aplicar herramientas estadísticas y así poder interpretar la información adecuadamente obteniendo resultados de alta confiabilidad.

Aplicando los conocimientos de ingeniería se halló el coeficiente de transmisión de calor h , teniendo en cuenta las propiedades del fluido a temperatura de película. Luego para hallar el coeficiente de conductividad térmica k del producto se hizo una búsqueda de modelos teóricos de transferencia de calor y el que más se acoplara a los datos obtenidos por la experimentación fue el utilizado dentro de la investigación, para posteriormente aplicar una herramienta estadística y poder llegar a un valor de k ($W/m^{\circ}C$) conocido para cada estado de madurez y variedad; de esta forma también se pretendía confirmar la teoría, que dice: k es independiente de la forma del producto, u objeto.

Puesto que se quiere profundizar en la transferencia de calor para alimentos como el plátano; este trabajo surgió como una segunda etapa del proyecto de investigación “Evaluación de la pérdida de nutrientes por cocción, freído y horneado en tres alimentos de consumo frecuente en la población colombiana”, en el que se trabajaron valores únicos para los diferentes estados de madurez.

Se quiere aportar a los estudiantes de ingeniería de alimentos y carreras a fines datos experimentales de tiempo, temperatura; y teóricos como el coeficiente de transmisión de calor h y el coeficiente de conductividad térmica k del plátano en dos variedades, para que sea una herramienta de trabajo fácil de aplicar en transferencia de calor y materias que dentro de sus objetivos la requieran.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el coeficiente de conductividad térmica (k) en dos variedades de plátano: Hartón y Dominico hartón, en tres estados de madurez (verde, pintón y maduro) y el coeficiente de transmisión de calor por convección (h) en función de la forma del producto y las propiedades del fluido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Establecer el tiempo de cocción por inmersión en agua a partir de una fase pre-experimental para dos variedades de plátano (Hartón y Dominico hartón) en sus tres estados de madurez (verde, pintón y maduro).
- ✓ Definir el diseño experimental a partir de la pre-experimentación, que permitan obtener resultados confiables para la investigación.
- ✓ Seleccionar y aplicar el modelo matemático más adecuado de transferencia de calor a dos formas geométricas (cilindros y discos), sometidos a proceso de cocción por inmersión.
- ✓ Hallar el coeficiente de transmisión de calor (h) por convección en función de la forma geométrica del producto y las propiedades del agua como fluido de cocción.
- ✓ Establecer el coeficiente de conductividad (k) para el producto, aplicando el modelo matemático seleccionado dentro de las propuestas teóricas de transferencia de calor.
- ✓ Definir el coeficiente de conductividad k en los tres estados madurez y establecer una ecuación general matemática.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dado que en las tablas de propiedades de alimentos no existen datos específicos de las diferentes propiedades termo-físicas en variedades de plátano hartón y Dominico hartón en sus tres estados de madurez (verde, pintón y maduro); esta investigación pretende aportar a dichas tablas nuevos datos del coeficiente de conductividad térmica k .

Los datos arrojados por esta investigación pretenden ayudar a las industrias de alimentos que lleven a cabo el proceso productivo del plátano, que quieran optimizar y controlar variables como el tiempo y temperatura de cocción. También se dirige a los estudiantes de ingeniería de alimentos y/o carreras a fines que puedan necesitar de esta información para las materias dentro del plan de estudios.

NOMENCLATURA

Nomenclatura	Símbolo	Unidades
Área	A	m ²
Calor específico	Cp	J/kg °C
Coefficiente de expansión volumétrica	β	1/°K
Coefficiente de transferencia de calor por convección	h	W/m ² °C
Conductividad térmica	k	W/m °C
Densidad	ρ	kg/m ³
Diámetro	D	m
Gravedad	g	m/s ²
Longitud	L	m
Masa	m	kg
Numero adimensional de Biot	Bi	-
Numero adimensional de Grashof	Gr	-
Numero adimensional de Fourier		
Numero adimensional de Nusselt	Nu	-
Numero adimensional de Prandtl	Pr	-
Numero adimensional de Rayleigh	Ra _L	-
Temperatura de película	Tp	°C
Tiempo	t	s
Viscosidad dinámica	μ	Kg / m s
Plátano hartón discos	PHD	-
Plátano hartón cilindros	PHC	-
Plátano dominico hartón discos	PDHD	-
Plátano dominico hartón cilindros	PDHC	-

1. MARCO TEÓRICO

1.1. PLÁTANO

El plátano es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas. Las dos especies más conocidas en nuestro medio son: la ***Musa Paradisiaca. L*** que corresponde al plátano para cocción y la ***Musa Sapientum Musa Cavendishii*** o banano. De acuerdo con la FAO, el plátano se cultivaba en el sur de la India alrededor del siglo V a.C. De allí se distribuyó a Malasia, Madagascar, Japón y Samoa. En África fue introducido entre los años 1000 y 1500 de la era cristiana. Finalmente llegó al Caribe y Latinoamérica poco después del descubrimiento del continente. En América del sur se encontró en Bolivia y la mayor parte del Brasil.

1.1.1. La Cadena de plátano en Colombia

De acuerdo con AUGURA (Asociación de bananeros de Colombia), en Colombia se cultivan y cosechan cinco variedades de plátano: *Dominico*, *Dominico Hartón*, *Hartón*, *Cachaco o Popocho*, y *Pelipita*.

En Colombia, más de la mitad del área cultivada en plátano (195.000 Ha, de un total de 390.794 en el año 2000) está en manos de pequeños productores. Para el año 2000, este producto representó el 9,69% del valor de la producción agrícola (tercer lugar después del café y los frutales), y el 13,89% del total de cultivos permanentes. Es cultivado en diferentes zonas

agro-ecológicas, desde el nivel del mar hasta los 2.000 metros de altura, y dentro de un rango de temperatura de 17 a 35 grados centígrados.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, de un total de 390.794 Ha en el año 2000, 13.899 (3,5%) correspondían fundamentalmente a cultivo para exportación, y 376.895 para el consumo doméstico, este último con un rendimiento promedio de 7,11 Tm/Ha, y un total de producción de 2.682.322 Tm de fruto.

En la zona de Urabá, donde se siembra fundamentalmente la variedad *Hartón*, se inició el cultivo como alternativa de pan coger y para el mercado interior. Sólo a partir de 1974 con UNIBAN, y de 1976 con BANACOL, se hicieron las primeras exportaciones del producto a los Estados Unidos. En aquel entonces, se crean ASPLATU y COOPAURABA como asociaciones impulsoras de su desarrollo. Desde 1988 se exporta plátano de Urabá también hacia Europa. La compañía SUNISA participa en la comercialización de este producto. La baja rentabilidad de cultivos como maíz, arroz y cacao llevó a muchos agricultores de Urabá a cultivar plátano, hasta el punto de que hoy existen en la zona 16.200 Ha cultivadas en plátano de exportación, fundamentalmente bajo explotación familiar, con fincas de tamaño promedio entre 1 y 2 Ha.

1.1.1.1. Producción regional

En Colombia podrían identificarse cinco zonas geográficas productoras de plátano: Caribe, Pacífico, Andina e Interandina, Orinoco, y Amazonía. La **Tabla 1** muestra la distribución y la participación de la producción en estas zonas.

Puede observarse cómo para 1999, la región Andina e Interandina representó el 66,84% de la producción nacional de plátano y el 99% de las

exportaciones del país de dicho producto. Dentro de esta región, se destacan en cuanto a producción: Quindío, Antioquia, Tolima, Valle del Cauca y Caldas. En términos de oferta exportable es Urabá en Antioquia quien tiene el liderazgo. Los mayores rendimientos en el país corresponden a Valle del Cauca, Meta, Tolima y Quindío.¹

Tabla 1. Distribución y la participación de la producción de plátano a nivel nacional

Region	Principales productores	Area Cultivada (Ha)	Producción (Tm)	Part. ° (%)	Rendimiento (Tm/Ha)	Exportaciones ² (Tm)	Part. ° (%)
Caribe	Total	39.400	263.522	10,7%	6,7	333	0,2%
	Córdoba	64%	64%		6,8	95%	
Pacífica	Total	42.382	222.159	9,0%	5,2	0	
	Nariño	49%	40%		4,3	0	
Andina	Total	231.173	1.648.789	66,8%	7,1	155.794	99,8%
	Quindio	16%	21%		9,6		
	Antioquia (Urabá)	21%	21%		6,9	100%	
	Tolima	14%	14%		10		
	Valle del Cauca	5%	8%		10,6		
	Caldas	8%	6%		5,7		
Orinoco	Total	22.891	199.709	8,1%	8,7	0	
	Meta	50%	59%		10,3		
Amazonas	Total	22.645	132.425	5,4%	5,8	0	
	Caquetá	45%	47%		6,1		
Total Nacional		358.491	2.466.604	100%	6,9	156.127	100%

Fuente. Web. agrocadenas@iica.org.co

¹ Web. <http://agrocadenas@iica.org.co>

1.1.1.2. La producción y comercialización de plátano en el mundo.

La **Tabla 2** muestra los principales productores de plátano en el mundo. Colombia figura como el segundo productor mundial, después de Uganda, para el año 2000, con una participación cercana al 9%, y un rendimiento de 7 Tn/Ha **Grafica 1**. Otros países como Sri Lanka (14 Tn/Ha) y Perú (11,69 Tn /Ha) superan ampliamente a Colombia en términos de rendimiento. En términos de crecimiento, Colombia aparece en el período 1990-2000, con una tasa anual negativa de $-0,25\%$. En este sentido, países como Ghana, Perú, Nigeria y Camerún, presentan una importante dinámica de crecimiento con tasas superiores al 3,5 % anual.²

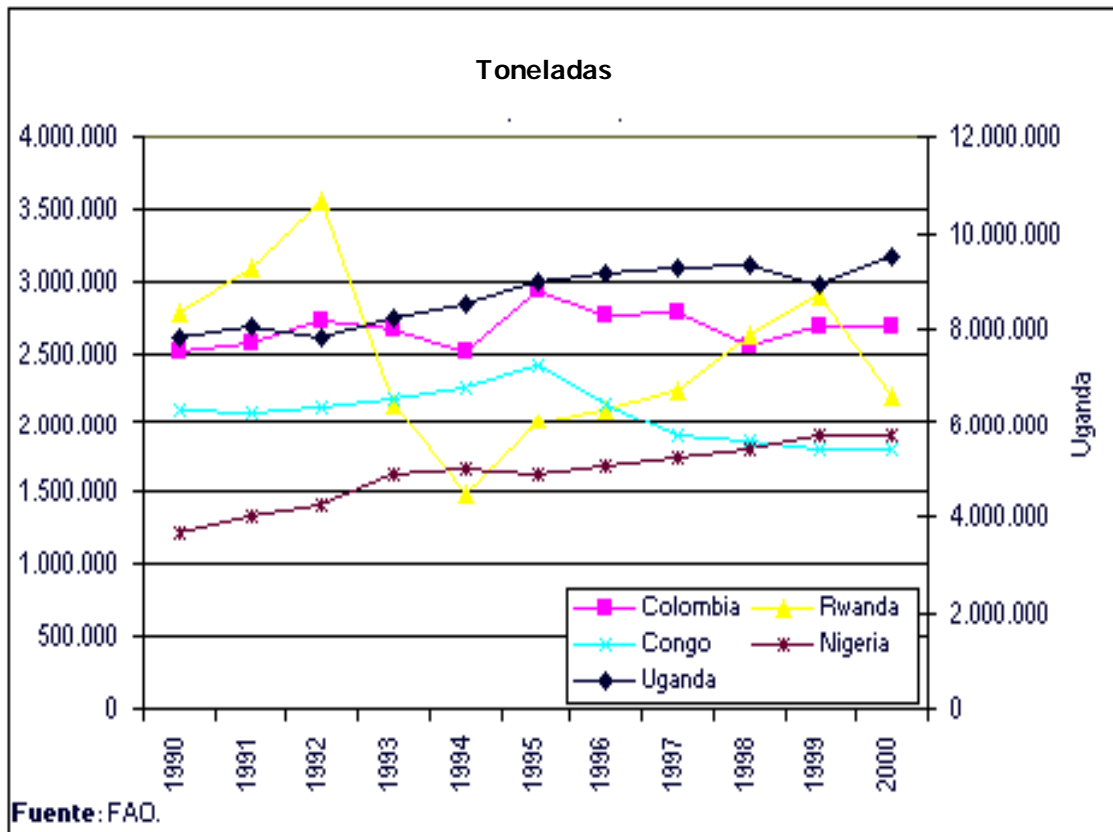
Tabla 2. Área, producción y rendimiento por país.

PAIS	1990		2000		Acumulado ²	Part. ² (%)	Crecim. ² (%) ³	Crecim. ² (%) ⁴
	Tm	Tm/Ha	Tm	Tm/Ha				
Uganda	7.842.000	5,6	9.533.000	6,0	95.709.000	30,1%	2,0%	0,8%
Colombia	2.515.900	7,2	2.689.000	7,0	29.390.200	9,2%	0,5%	-0,2%
Rwanda	2.776.770	6,9	2.212.250	5,4	27.132.457	8,5%	-1,7%	-1,3%
Rep Dem del Congo	2.097.000	4,9	1.800.000	4,1	22.654.700	7,1%	-1,9%	-2,1%
Nigeria	1.215.000	7,5	1.902.000	6,8	17.929.000	5,6%	4,1%	-1,3%
Ghana	799.000	6,2	2.046.240	8,0	17.120.070	5,4%	8,6%	2,1%
Costa de Marfil	1.185.000	3,5	1.405.441	3,5	14.634.882	4,6%	1,9%	0,2%
Camerún	869.544	5,1	1.403.000	5,5	13.105.359	4,1%	4,4%	0,5%
Perú	702.418	12,1	1.414.900	11,7	11.644.675	3,7%	8,5%	-0,1%
Ecuador	1.065.222	11,8	475.724	6,8	8.752.210	2,8%	-6,8%	-2,9%
Tanzania	823.000	8,2	652.378	7,7	8.190.191	2,6%	-1,4%	0,0%
Sri Lanka	515.200	14,0	600.000	14,0	6.068.080	1,9%	2,2%	0,4%
Venezuela	507.434	7,8	550.906	7,3	5.935.178	1,9%	0,2%	-0,1%
República Dominicana	665.000	11,1	343.312	9,6	4.862.681	1,5%	-9,4%	-0,5%
Guinea	385.000	5,1	429.000	5,2	4.582.000	1,4%	1,2%	0,0%
Kenya	340.000	4,1	370.000	4,4	4.040.000	1,3%	1,0%	0,9%
Myanmar	237.756	5,4	353.997	7,7	3.489.465	1,1%	5,2%	4,9%
Otros países	1.772.922	8,2	2.297.767	8,2	22.888.360	7,2%	2,3%	0,0%
Mundo	26.314.187	6,1	30.478.948	6,1	318.128.843	100,0%	1,5%	0,1%

Fuente: FAO. Cálculos Observatorio Agrocadenas para el período 1990 - 2000.

² web.http/www.Infoagro.com

Grafica 1. Cinco mayores productores de plátano a nivel mundial



Fuente: FAO. Cálculos Observatorio Agrocadenas para el período 1990 - 2000.

En relación con el comercio internacional de este producto, la **Tabla 3** muestra los principales países exportadores. Colombia aparece como el primer exportador mundial de plátano seguido de Ecuador, Costa Rica y Guatemala. Las exportaciones de Francia, Bélgica-Luxemburgo y Países Bajos, posiblemente corresponden a producción de ex-colonias, trianguladas por estos países europeos. Colombia, Ecuador y Venezuela han sido los principales proveedores del mercado americano.

Tabla 3. Principales países exportadores a nivel mundial (Ton)

PAIS	1995	1996	1997	1998	1999	Acumulado ³
Colombia ²	95.651	101.186	96.559	121.009	156.127	570.531
Ecuador	66.826	65.138	101.134	100.121	90.015	423.234
Costa Rica	16.278	22.538	24.176	22.000	34.000	118.992
Guatemala		16.571	11.074	13.220	41.000	81.865
Venezuela	4.558	21.785	7.277	4.000	4.050	41.670
Bélgica-Luxemburgo	10.521	8.647	12.415	14.538	8.905	55.026
Francia	18.589	5.064	913	30.187	11.938	66.691
Países Bajos	2.906	6.090	10.408	5.488	14.367	39.259
República Dominicana	1.323	7.655	4.864	4.715	869	19.426
Honduras	8.048	1.545	781	4.087	200	14.661
Nicaragua	291	2.695	2.792	3.424	1.812	11.014
Dominica	1.773	1.577	2.006			

Fuente. FAO. Bases de Datos de Comercio Exterior. DANE. Cálculos Observatorio Agrocadenas para el período 1995 – 1999.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL FRUTO

La planta es una herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3.5-7.5m de altura, terminado en una corona de hojas. Los plátanos son polimórficos, pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2 - 20 frutos; siendo de color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo.³

De acuerdo con la FAO los plátanos y otras especies para cocción, se producen a lo largo del trópico húmedo, concentradas fundamentalmente en África, América Latina y el Caribe. Constituyen una importante fuente de carbohidratos y contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas en África, el Caribe, Latinoamérica, Asia y el Pacífico. Las formas de su consumo varían ampliamente entre países de acuerdo a los hábitos

³ Infoagro.com op.cit,p15

alimenticios. Los sistemas de producción son en su mayoría tradicionales, y se dan frecuentemente en asocio con otro tipo de productos agrícolas, como el café, el coco, el ñame, entre otros. En algunos países se da el esquema de monocultivo de plantación. En la **Tabla 4** se clasifica el plátano por variedad y peso.

Tabla 4. Clasificación del plátano según su peso.

Variedad	Unid	Grande (Máximo)	Mediano	Pequeño (Mínimo)
Hartón	g	350	250-349	249
Dominico-Hartón	g	>300	250-299	< 199
Dominico	g	200	150-199	149
Cachaco	g	140	120-139	119
Banano	g	130	110-129	10
Comino o colicero	g	120	100-119	99
Pacífico	g	50	30-49	29
Bocadillo	g	40	20-39	19

Fuente. NTC. Norma técnica Colombiana 1190, estados de maduración del plátano

1.2.1. PLÁTANO HARTÓN.

Este fruto, también llamado plátano de guisar o hartón **Figura 1**, pertenece a la familia de las Musáceas (*Musaceae*), especie "*Musa paradisiaca L*", más grande y menos dulce que otras variedades de su misma familia. A lo largo de los años su cultivo se ha extendido a muchas regiones de Centroamérica y Sudamérica, así como de África Subtropical.

Su forma es alargada, algo curvada y puede llegar a pesar unos 249- 350 gramos cada unidad **Tabla 4**. La piel es gruesa y de color verdoso y su pulpa de color blanco. La pulpa tiene una consistencia harinosa y su sabor a diferencia de otros plátanos no es dulce ya que apenas contiene hidratos de carbono sencillos o azúcares.

El cultivar “África”, es una selección del clon Africano “Mbouroukou”, tipo “**Hartón**”, que se adapta muy bien desde el nivel del mar hasta los 1.700 m de altitud, cuyo racimo puede alcanzar hasta 26 kg de peso y la calidad de los frutos es similar a la del “**Dominico hartón**”; el ciclo de maduración es de aproximadamente 10 meses, dependiendo de la fertilización aplicada, lo que le permite mantener una o dos hojas funcionales hasta el momento de la cosecha.⁴

Figura 1 Plátano Hartón



⁴ GUZMÁN-PIEDRAITA Óscar Adrián & Jairo Castaño-Zapata, Ph.d. Reconocimiento de nematodos Fitopatogenos en plátanos **Dominico Hartón** (musa aab simmonds), África, Fhia-20 y fhia-21 en la granja montelindo, municipio de palestina (Caldas), Colombia.

1.2.1.1. Valor nutricional del plátano Hartón.

Es una fruta con un elevado contenido de hidratos de carbono complejos (almidón), por lo que no es apto para su consumo en crudo. Es muy rico en minerales como potasio y magnesio, pequeñas cantidades de sodio y también aporta cantidades interesantes de vitaminas del grupo B; **Tabla 5.**

Tabla 5. Composición Del Plátano Fresco Crudo Hartón Verde y maduro (Valores En Porcentaje).

COMPONENTE	HARTON VERDE %	HARTON MADURO %
Agua	59.4	60.8
Proteína	1.2	1.1
Carbohidratos	37.8	36.3
Grasa	0.2	0.2
ceniza	0.9	1.0

Fuente: Tabla de composición de alimentos colombianos. ICBF 2001

1.2.2. PLÁTANO DOMINICO HARTÓN

El plátano “**Dominico hartón**” Figura 2, pertenece al grupo *Musa (AAB)*, subgrupo plátano, tipo “Horn”. En otros países de América Latina se conoce como “Macho x Hembra”, “Maricongo” o “Bastard”. Es un material bastante inestable, que de acuerdo con la altitud de siembra muestra el efecto de la interacción genotipo-ambiente sobre la fisiología de la planta y su racimo. Es

susceptible a *R. Similis* y se considera un material intermedio entre el Dominico y el Hartón⁵

Figura 2. Plátano Dominico Hartón



1.2.2.1. Comportamiento post-cosecha del fruto de plátano Dominico hartón.

Se ha demostrado que el plátano después de cosechado en color amarillo alcanza su estado de madurez comercial a los 12 días, a una temperatura de 21°C y a una humedad relativa de 80%, pero este tiempo de maduración puede ser afectado por varios factores como las condiciones ambientales

⁵ PELAEZ. Et al CCIA. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. Manejo integrado del cultivo del plátano.

ocurridas durante el desarrollo del fruto en la planta. Los frutos desarrollados durante época seca tienen una vida post-cosecha más corta (6 días) que los desarrollados en época lluviosa (10 días).

Aunque se han establecido unas zonas para el desarrollo de las diferentes variedades de plátano, los estudios sobre la calidad del fruto Dominicano Hartón indican que en la zona cafetera en altitudes entre 1000 y 1400 metros sobre el nivel del mar se propician frutos de buena calidad (buen tamaño y presentación), cuando se le da un adecuado manejo al cultivo.

Después de la cosecha y hasta el momento de maduración del fruto ocurren pérdidas de peso por deshidratación que fluctúan entre el 15 y 20% y se presentan cambios físicos y organolépticos relacionados con el sabor, la textura y el aroma como consecuencia de procesos bioquímicos y metabólicos internos en el fruto: aumento de sólidos solubles totales (°Brix); incremento de azúcares totales que en su mayoría son reductores (glucosa, fructosa entre otros) y de ácidos orgánicos (ácido málico, principalmente). Durante la maduración el pH y la concentración de almidón disminuyen, mientras que los minerales tanto de la pulpa como de la cáscara se conservan Tabla 6.⁶

⁶ Elaboración Corpoica Manejo integrado del cultivo del plátano. Adaptado de Arcillay Torres, 1997.

Tabla 6. Composición química de la pulpa del fruto de plátano dominico hartón durante la maduración

Composición Química	Unidad	Verde	Maduro	Sobremaduro
Sólidos solubles	%	6	26	31
Azúcares totales	%	5	27	36
Almidón	%	76	69	57
Ácidos orgánicos (ácido málico)	%	0.3	1.1	0.8
pH	%	6.2	4.6	4.5

Fuente. Elaboración Corpoica. Adaptado de Arcilla y Torres, 1997

1.3. MADURACIÓN DE LA FRUTA

La maduración es un proceso fisiológico que ocurre a nivel celular en un periodo de tiempo como parte del crecimiento y desarrollo de una fruta, en una secuencia de hechos naturales. Se produce sin que haya en muchos casos un crecimiento en tamaño; es una transformación interna de la fruta, que constituye uno de los fenómenos fisiológicos. El fruto se transforma totalmente en pocos días pasando de ser simple, sin atractivo, no comestible a uno atractivo, de un alto sabor y aroma. Siendo la maduración un proceso de cambio irreversible que proporciona las características óptimas para el consumo de la fruta.

La maduración de la fruta es un importante criterio poscosecha en la selección de los plátanos, siendo este el de mayor influencia sobre la vida útil del fruto, la habilidad de almacenamiento en largos periodos de tiempo y la calidad final de éste. La desaparición o pérdida del color verde de la cáscara se debe a la degradación de la estructura de la clorofila. La intensificación

correspondiente del color amarillo durante la maduración es una manifestación óptica para la evaluación del estado de madurez del plátano.⁷

1.3.1. Cambios que pueden ocurrir durante la maduración

La maduración de la fruta es el resultado de un complejo de cambios, muchos de los cuales probablemente ocurren independientemente unos de otros. A continuación se presentan algunos de los principales cambios que ocurren en el plátano durante la maduración:⁸

- Cambios en el color de la cáscara y de la pulpa Figura 3 y 4.
- Transformación del almidón en azúcar.
- Cambios en la proporción pulpa / cáscara (y facilidad para pelar).
- Cambios en la firmeza de la pulpa o el ablandamiento de la misma.
- Aumento en el contenido de sólidos solubles totales.
- Cambio en el pH y acidez titular total de la pulpa.
- Cambios en la humedad de la cáscara, la pulpa y contenido de materia seca.
- Cambios en la tasa de respiración y producción de etileno.

⁷ DADZIE et J.E. Orchard. Evaluación rutinaria post- cosecha de híbridos de Bananos y Plátanos: criterios y métodos. Edt. Inibap. 1997.

⁸ GALLO. F. Manual de fisiología, Patología post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Armenia Colombia, 1997. p. 93 -95.

Figura 3. Plátano verde



Figura 4. Plátano Maduro



1.3. 2. Transformación del almidón en azúcar

El cambio químico post-cosecha más representativo que ocurre durante la maduración del plátano es la hidrólisis del almidón y la acumulación de azúcar (es decir sacarosa, glucosa y fructosa) que son los responsables de la intensificación del sabor dulce de la fruta a medida que madura.

1.3.3. Métodos para la determinación del índice de madurez.

Existen varios métodos y procedimientos para evaluar el contenido de almidón o azúcar durante la maduración de las frutas; dentro de estos están:

- a) **Prueba de yodo:** esta prueba consiste en que la coloración azul en el área de mayor contenido de almidón en las secciones transversales de la fruta, en los lugares donde el almidón de la pulpa se convirtió en azúcar durante la maduración no ocurre ninguna reacción y el área permanece de color crema pálida.

- b) **Refractometría:** mide el índice refractivo utilizando un instrumento de medición, indicando el contenido de sólidos solubles.⁹

⁹ DADZIE et J.E. Orchard op ct,24

1.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS ALIMENTOS

La transmisión de calor en los alimentos es de vital importancia, siendo esta la base sobre la que operan varios de los procesos industriales que están relacionados con el diseño y actividad de los equipos. Todos los alimentos poseen propiedades térmicas las cuales son determinantes en los procesos de transmisión de calor. Las que se mencionan a continuación son las de mayor incidencia en los mismos:

a. Calor específico: cantidad de calor ganado o perdido por una unidad de peso de producto para provocar un determinado incremento de temperatura sin que tenga lugar un cambio de fase. El calor específico de un producto depende de su composición, humedad, temperatura y presión. Para productos de composición conocida puede utilizarse la siguiente ecuación

$$C_p = 1.42m_c + 1.549m_p + 1.675m_f + 0.837m_a + 4.187m_m \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde m fracción en peso, c Hidratos de carbono, p Proteínas, f Grasa, a Cenizas, m Humedad

b. Conductividad térmica: medida de la velocidad con la que el calor se transmite a través de un espesor unidad de ese material cuando existe un gradiente de temperatura unidad entre sus extremos y esta definida así:

$$k = \frac{J}{s * m * ^\circ C} = \frac{W}{m * ^\circ C}$$

c. Difusividad térmica: es la razón entre el calor conducido a través del material y el calor almacenado por unidad de volumen y se define como⁹

$$\alpha = \frac{\text{Calor conducido}}{\text{Calor almacenado}}$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad \text{Ec. 2}$$

$$\alpha = \frac{\frac{W}{m^{\circ}C}}{\frac{kg}{m^3} * \frac{J}{kg^{\circ}C}} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

1.5. TRANSFERENCIA DE CALOR.

El calor se define como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de la velocidad de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. la transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura mas elevada, hacia el de temperatura mas baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la

⁹ SIHG. Paul. Introducción a la Ingeniería de Alimentos. Edt, Acribia, Zaragoza. España 1998.

existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura mas elevada hacia uno de temperatura mas baja.

Debido a la complejidad de la función de transferencia de calor y teniendo en cuenta el tipo de material y las condiciones del proceso, se aplica la conducción en estado transitorio y la convección natural.¹⁰

1.5.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre esas partículas. Puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante sus movimientos aleatorios. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

La velocidad de conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de esta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa **Ec. 3**; es decir:¹¹

¹⁰ CENGEL Yunus. Transferencia de calor. Mc Graw Hill. Edición. 2004

¹¹ CENGEL Yunus. op cit, p 28

$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} (W)$$

Ec. 3

$$Q_{cond} = -KA \frac{dT}{dx} (W)$$

k = Conductividad térmica del material

dt/dx = Gradiente de temperatura

A = Área de transferencia de calor

1.5.1.1. Conducción de calor en régimen transitorio

La transmisión de calor en estado transitorio (no estacionario) es aquella etapa del proceso de calentamiento o del enfriamiento en la que la temperatura cambia con el tiempo, La temperatura dentro de un cuerpo cambiara de punto a punto así como de tiempo a tiempo, este aumentara o disminuirá hasta alcanzar un valor con la temperatura del fluido.

La formulación de los problemas para la determinación de la distribución de temperatura unidimensional en régimen transitorio, en una pared conduce a una ecuación diferencial en derivadas parciales; sin embargo la solución comprende series infinitas las cuales son inconvenientes y su evaluaciones tardía por lo tanto se tiene una clara motivación para presentar la solución en forma tabular. Con el fin de reducir el numero de parámetros se toman las siguientes cantidades adimensionales.

a. Número de Biot

La razón entre la resistencia interna y externa, se denomina coeficiente adimensional de transferencia de calor número de Biot

$$Bi = \frac{hLc}{k}$$

Numero de Biot Ec. 4

$$Bi = \frac{\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * m}{\frac{W}{m \cdot ^\circ C}}$$

Lc = Longitud característica (m)

h = Coeficiente de transmisión de calor (W / m² ° C)

k= Conductividad térmica (W / m ° C)

b. Número de Fourier

El número de Fourier "*Tiempo adimensional*" **Ec 5**, es una medida del flujo del calor por conducción por unidad del flujo de calor almacenado, así un valor alto de Fo significa alta penetración del calor en el sólido en un intervalo de tiempo dado.¹²

¹² CENGEL Yunus.op cit,p 28

$$Fo = \frac{k}{\rho * Cp} * t$$

$$Fo = \frac{Lc^2}{\alpha}$$

$$Fo = \frac{m^2}{\alpha} * s$$

$$Fo = \frac{s}{m^2}$$

Numero de Fourier Ec. 5

t= Tiempo (segundos)

Lc= longitud característica (m)

α = Difusividad térmica = $k/\rho * Cp$ (m^2/s) Ec. 2

Resulta conveniente expresar la solución al usar las aproximaciones de un término, dada como:

Pared plana $\theta(x, t) = \frac{T(x, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} \cos(\lambda_1 x/L) \quad \tau > 0.2$

Cilindros $\theta(r, t) = \frac{T(r, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} Jo(\lambda_1 r/r_0) \quad \tau > 0.2$

Donde las constantes A_1 y λ_1 son funciones solo del número de Bi, mostrados en el **Anexo 1** el cual da una lista de valores con respecto al número de Bi, para las tres configuraciones geométricas. La función Jo es la función de Bessel de primera clase y de orden cero, dado que $\cos(0) = Jo(0) = 1$ y que el límite de $\sin(x/x)$ también es uno, estas relaciones se simplifican para dar las siguientes ecuaciones en el centro de una pared plana, y un cilindro.

Funciones de Bessel:

$$\text{Centro de pared plana: } (x=0) \quad \theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 Fo} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{Centro del cilindro } (r=0) \quad \theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 Fo} \quad \text{Ec. 7}$$

1.5.2. CONDUCTIVIDAD TERMICA (k)

La conductividad térmica k [W/m°C] es la medida del flujo de transmisión de calor que es conducido a través de un determinado material bajo condiciones específicas. Este coeficiente es la medida del calor transferido (W) que atraviesa un metro de material para una diferencia de temperatura de un grado Kelvin (1 °K) en una superficie de un metro cuadrado. (1 m²).

$$k = \frac{J}{s * m * ^\circ C} = \frac{W}{m * ^\circ C}$$

1.5.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección es el proceso de transmisión de energía como resultado de la acción combinada de la Conducción de calor, el almacenamiento de energía y el movimiento de mezcla, ocurre en un fluido o cuando un fluido está en movimiento y se encuentra en contacto con una superficie a diferente temperatura. El mecanismo mediante el cual el fluido se mueve puede ser natural o inducido por las fuerzas resultantes por las

diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura, caso en el cual es llamada **Convección Natural**; cuando el movimiento del fluido es generado por causas externas tales como un ventilador, una bomba o el viento se denomina **Convección Forzada**.

Para expresar el efecto global de la convección, se utiliza la ley de Newton de enfriamiento y se define:

$$Q = hA(T_p - T_\infty)$$
$$Q = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * m^2 * ^\circ C$$

Ec. 8

Aquí el flujo de calor transferido se relaciona con la diferencia global de temperatura entre la pared y el fluido, el área **A** de la superficie y **h** que es el coeficiente de transferencia por convección, **T_p** es la temperatura de la superficie y **T_∞** es la temperatura del fluido.

En la mayoría de los casos el coeficiente **h_c** puede predecirse teóricamente si el movimiento del fluido es laminar, pero en el caso de flujos no laminares, de transición y turbulento, es necesario determinarlo en forma experimental.

1.5.3.1. Convección natural

El movimiento del fluido es el resultado de las diferencias de densidad provocadas a su vez por gradientes de temperatura en la transferencia de calor.

La transferencia de calor por convección natural sobre una superficie depende de la configuración geométrica de ésta así como de su orientación. También de las propiedades termo físicas del fluido que intervienen. En la transferencia de calor se utilizan las correlaciones para formas regulares definidas como: cilindros horizontales, placas planas (discos) y esferas.

Todas las propiedades del fluido se evalúan a temperatura de película utilizando la temperatura de película definida por la Ec 9

$$T_p = \frac{T_{\infty} + T_o}{2} = ^{\circ}C \quad \text{Ec. 9}$$

T_{∞} = Temperatura inicial del fluido

T_o = Temperatura inicial del producto

Por lo general el coeficiente convectivo de transferencia de calor es descrito mediante una relación empírica **Ec. 10**, para la cual se usan en la mayoría de los casos algunos números adimensionales como Rayleigh, Grashof, Prandtl y Nusselt.

El coeficiente de calor por convección entre una superficie y un cuerpo esta definida por la relación:

$$h = \frac{k}{D} Nu$$

Ec 10

$$h = \frac{\frac{W}{m^{\circ}C}}{m} = \frac{W}{m^2 \circ C}$$

k= Coeficiente de conductividad térmica (W/m°C)

D= Longitud característica (m)

Nu= Número adimensional Nusselt

El valor de h depende de:

- Velocidad relativa del fluido (fluido-superficie)
- Diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido.
- Dirección del flujo de calor.
- Forma y orientación de la superficie.
- Propiedades físicas y químicas del fluido.
- Rugosidad superficial

a. Numero de Grashof (Gr)

Grashof es un número adimensional y representa la razón entre la fuerza de empuje y la fuerza viscosa en oposición que actúa sobre el fluido, y se expresa así:

$$Gr_l = \frac{\rho^2 * g * \beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\mu^2}$$

$$Gr = \frac{\frac{kg^2}{m^6} * \frac{m}{s^2} * \frac{1}{\circ K} * \circ K * m^3}{\frac{kg^2}{m^2 * s^2}} \quad \text{Ec. 11}$$

g = aceleración gravitacional, (m/s²)

β = coeficiente de expansión volumétrica, (1/°K)

T_s = temperatura de la superficie, (°C)

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, (°C)

ρ = densidad del fluido, (Kg/m³)

μ = viscosidad dinámica, (Kg/m * s)

L_c = longitud característica de la configuración geométrica; es la altura L para una placa vertical y el diámetro D para un cilindro horizontal. (m)

b. Numero de Rayleigh (Ra).

Numero adimensional producto de los números de Grashof y Prandtl.

$$Ra_L = Gr_L * Pr \quad \text{Ec. 12}$$

$$Ra_L = \frac{\rho^2 g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\mu^2} * Pr$$

c. Numero de Nusselt (Nu).

Es un número adimensional que se usa para relacionar los datos para el coeficiente de transferencia de calor h con la conductividad térmica k del fluido y una dimensión característica D **Tabla 7.**

Tabla 7. Dimensión característica para discos y cilindros.

Forma	Longitud característica
Cilindros horizontales	D
Placas planas horizontales (Discos)	0.9 D

Fuente. Holman J.P. Transferencia de calor.

Como Cengel lo indica en la teoría para cilindros y placa plana se utilizan las siguientes formulas¹³:

a. Cilindro horizontal

$$Nu = \left\{ \left[0.6 + \frac{0.387 * Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \right. \quad Ra < 10^{12} \quad Ec \quad 13$$

b. Placas planas horizontales

$$Nu = 0.15Ra^{1/3} \quad Ec \quad 14$$

1.6. COCCIÓN POR INMERSIÓN

La cocción de alimentos es un proceso típico de transmisión de calor, ya sea por inmersión (en agua, aceite o soluciones salinas), por horneado ó al vapor. La técnica de cocción húmeda por inmersión, en la que se logra la cocción de cualquier alimento calentándolo en las corrientes de convección producidas dentro del agua en un recipiente, por eso la temperatura máxima alcanzable es la de 100°C; este es un método de cocción altamente eficiente puesto que la superficie completa del alimento esta en contacto con el medio de cocción el cual es suficientemente denso y turbulento para que las moléculas de agua transfieren continuamente su energía a los alimentos.

¹³ CENGEL Yunus.op cit,p 28

Cuando en un fluido se produce un cambio de temperatura, las variaciones que ello provoca en su densidad desencadenan corrientes de convección natural y la agitación provoca velocidades de transferencia de calor y una distribución más rápida de la temperatura.¹⁴

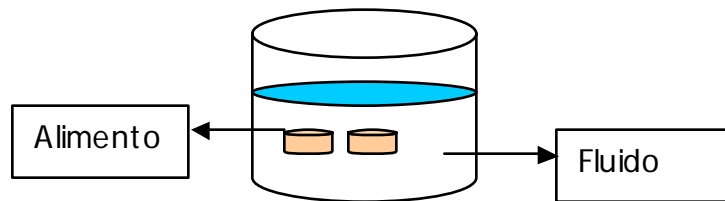


Figura 5. Cocción por inmersión

1.6.1. Tiempo de cocción

Los tiempos de cocción varían de acuerdo a la temperatura del alimento crudo, pero además según su estado de madurez, forma y tamaño del alimento. Se debe tener en cuenta que los alimentos conservan el calor durante un determinado tiempo una vez finalizada la cocción y por esto continúan cocinándose un poco más. De ahí que muchas veces para cortar la cocción se les sumerge rápidamente en agua fría.

Para la cocción en agua a 92°C, es más importante tener en cuenta la curva de aumento de temperatura que la temperatura de cocción en sí.¹⁵

¹⁴ <http://www.repsolypf.com/esp/bienvenidoalinfinito/casayhogar/coccion2003/metodos.as>

¹⁵ <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/coccion%20ejemplos.htm>

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Se eligieron dos variedades plátano: Hartón y Dominico Hartón, por ser las más cultivadas y de mayor comercialización en el país. Para el desarrollo del proyecto se distribuyó el trabajo en cuatro etapas: pre-experimentación, experimentación, aplicación de herramientas estadísticas y cálculos para la obtención del coeficiente de conductividad térmica k .

2.1. HERRAMIENTA ESTADÍSTICA

Para el procesamiento y análisis de datos de la investigación se utilizó diseño estadístico descriptivo, este arroja: promedio, varianza, mediana, moda, desviación Standard y gráficos con el máximo y mínimo valor. La interpretación de la información se realiza por medio de análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%.; se determinó el p valor, que muestra la distancia de los datos por encima o por debajo del valor de la mediana determinando las regiones de aceptación y rechazo para la elección de las hipótesis.

Para la aplicación de las herramientas estadísticas se realizaron ensayos cuyas muestras superan 10 datos, por esta razón se utilizó el método de Tukey, este test muestra las semejanzas o diferencias de parejas, por medio del planteamiento de hipótesis; (**Hipótesis nula** (H_0): No hay diferencias significativas entre las muestras si $p > 0.05$) y (**Hipótesis alterna** (H_1): Hay diferencias significativas entre las muestras si $p < 0.05$).

2.2. PRE-EXPERIMENTACIÓN.

Se realizaron ensayos preliminares con el fin de determinar el comportamiento del tiempo y temperatura de cocción del plátano, en función del estado de madurez (verde, pintón y maduro) para las dos variedades.

2.2.1. Selección y adquisición del producto.

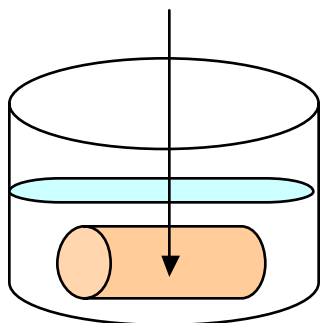
Los productos fueron adquiridos directamente del cultivo en la ciudad de Armenia, Quindío para garantizar que fueran realmente las variedades Hartón y Dominico Hartón.

2.2.2. Definición de forma y tamaño de las muestras.

Los parámetros para realizar los cortes del producto se encuentran definidos en una investigación anterior¹⁶; adicionalmente la teoría de transferencia de calor tiene pre-establecido formas geométricas: cilindros, placa plana y esferas, por esta razón se eligieron dos formas para realizar los cortes: cilindros y discos, siendo estos los que se ajustan a las condiciones. **Tabla 8.** Como se muestra en las Figuras **6, 8 y 9.**

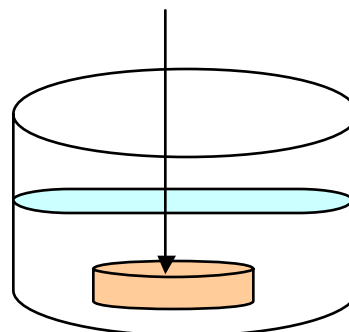
¹⁶ MURILLO Frenando et all. Evaluación de variables y transferencia de calor en los procesos de cocción en inmersión y al vapor en la papa R-12, yuca blanca chirosa y plátano hartón en sus dos estados de madurez.

Temperatura central (°C)



Medición de temperatura para Cilindros horizontales

Temperatura central (°C)



Medición de temperatura para placa plana

En el desarrollo de los ensayos, las dos variedades de plátano fueron medidas con calibrador para discos y/o flexometro para cilindros **Figura 7**,

Tabla 8. Tamaño del producto para discos y cilindros

PARAMETRO	CILINDROS	DISCOS
Longitud	9 - 10 cm	2 - 2.3 cm
Diámetro Característico de la variedad	3.0 - 4.0 cm	3.0 - 4.0 cm
Masa	59 g - 85 g	15 g - 24 g

Figura 6. Plátano en Cilindros



Figura 7. Medición de la longitud en cilindros 10 cm.



Figura 8. Longitud en discos 2 cm.

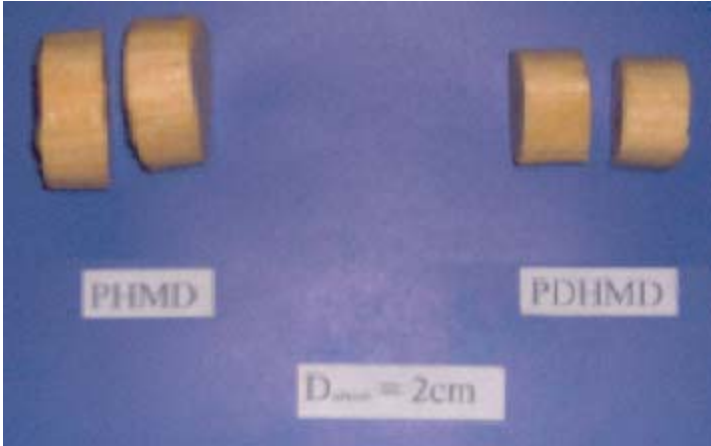
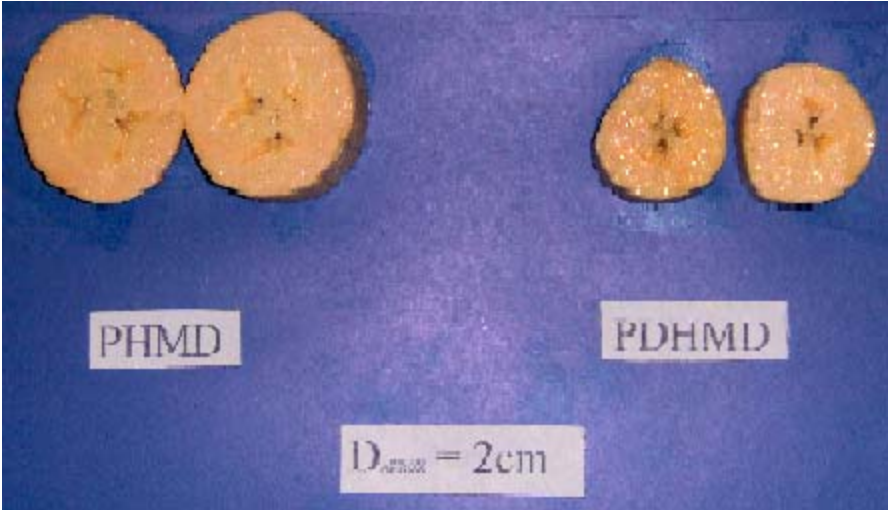


Figura 9. Plátano en Discos



2.2.3. Caracterización del producto en el proceso de maduración.

Se tomo como base información proporcionada por cultivadores del Quindío acerca del rango o escala de maduración medida por refractometría **Tabla 9** la cual se maneja en esta zona. Se tiene como indicador de maduración los sólidos solubles (°Brix) del producto, medidos por refractómetro de **Bertuchi** con escala de 0 - 32 °Brix.

Tabla 9. Escala de clasificación del plátano por estado de madurez.

	VERDE	PINTON	MADURO
° BRIX	6 - 10	11 – 20	23 - 32

Fuente. Proporcionado por cultivadores del Quindío

2.2.4. Codificación de la muestras.

Para una correcta manipulación de los datos, se creó un código para representar cada uno de los diferentes ensayos, variedad, madurez y forma. El código radicó en:

Cuatro letras consecutivas que se referían a: El producto **P** (plátano); la variedad **DH** (Dominico Hartón), **H** (Hartón); estado de madurez **V** (verde), **P** (Pintón), **M** (Maduro) y la forma **C** (Cilindros), **D** (Discos).

Así el código **PHVC** representaría el ensayo Plátano Hartón Verde Cilindro; **PDHMD** representaría plátano dominico hartón maduro discos.

2.2.5. Numero de muestras por ensayo

En cada estado de madurez y variedad se realizaron ensayos por duplicado. El número de ensayos (e) realizados es de: $e = (12 \times 2 = 24)$ y de muestras (n) por cada ensayo para cilindros y discos: ($n = 10$) para un total de muestras de ($n = 240$) **Tabla 10.**

Tabla 10. Numero de muestras por ensayo fase pre-experimental

No	Código	ensayo	número
1	PHVC	2	10
2	PHPC	2	10
3	PHMC	2	10
4	PHVD	2	10
5	PHPD	2	10
6	PHMD	2	10
7	PDHVC	2	10
8	PDHPC	2	10
9	PDHMC	2	10
10	PDHVD	2	10
11	PDHPD	2	10
12	PDHMD	2	10
Total ensayos		24 x 10 = 240	

2.2.6. Condiciones del fluido y del proceso de cocción.

Para el desarrollo de cada experimento se utilizó un recipiente cilíndrico con un volumen de 4 litros. En el recipiente se introdujo el fluido medido por una probeta aforada de 1000 ml (pirex), luego se calentó en estufa eléctrica General Electric.

Para la inmersión de las muestras se utilizó agua potable en una proporción de dos a uno (2 : 1) en peso donde se agregaron dos partes del fluido por una parte del producto (un gramo de plátano por dos de agua), esta relación se realizó basada en el peso total de cada ensayo con el fin de lograr el cubrimiento total del plátano; este proceso se llevo a cabo en cada estado de madurez, forma y variedad.

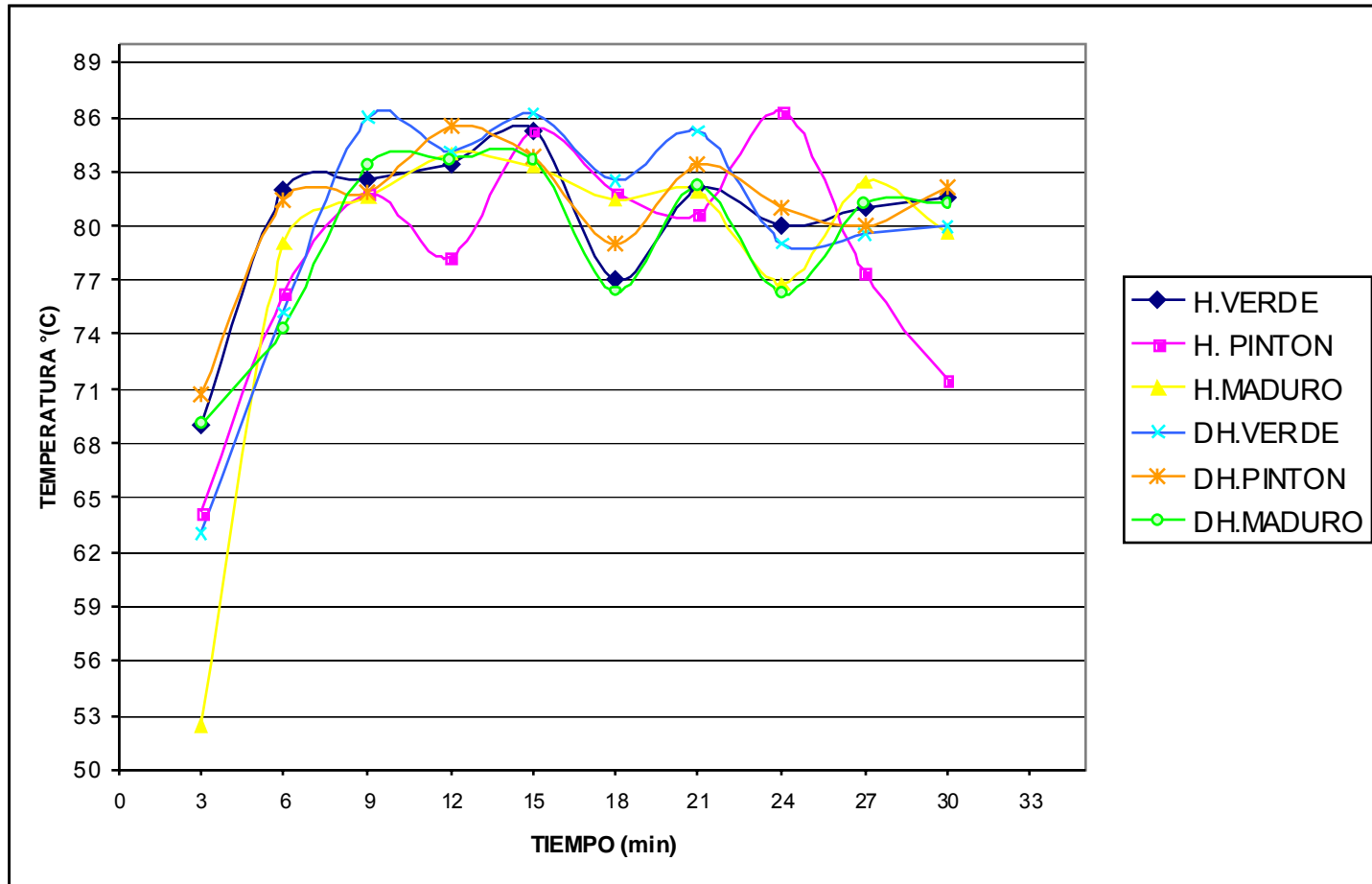
Al hacer el montaje de cada ensayo el fluido de cocción debía estar en ebullición (92°C), alcanzada esta temperatura se introdujeron las muestras haciendo la medición del tiempo con cronometro (Casio), cada cinco minutos para cilindros y cada tres minutos para discos; simultáneamente se tomo la temperatura interna en la parte central del plátano con termómetro digital y se hizo un registro.

2.2.7. Resultados y análisis de resultados de la fase pre - experimental

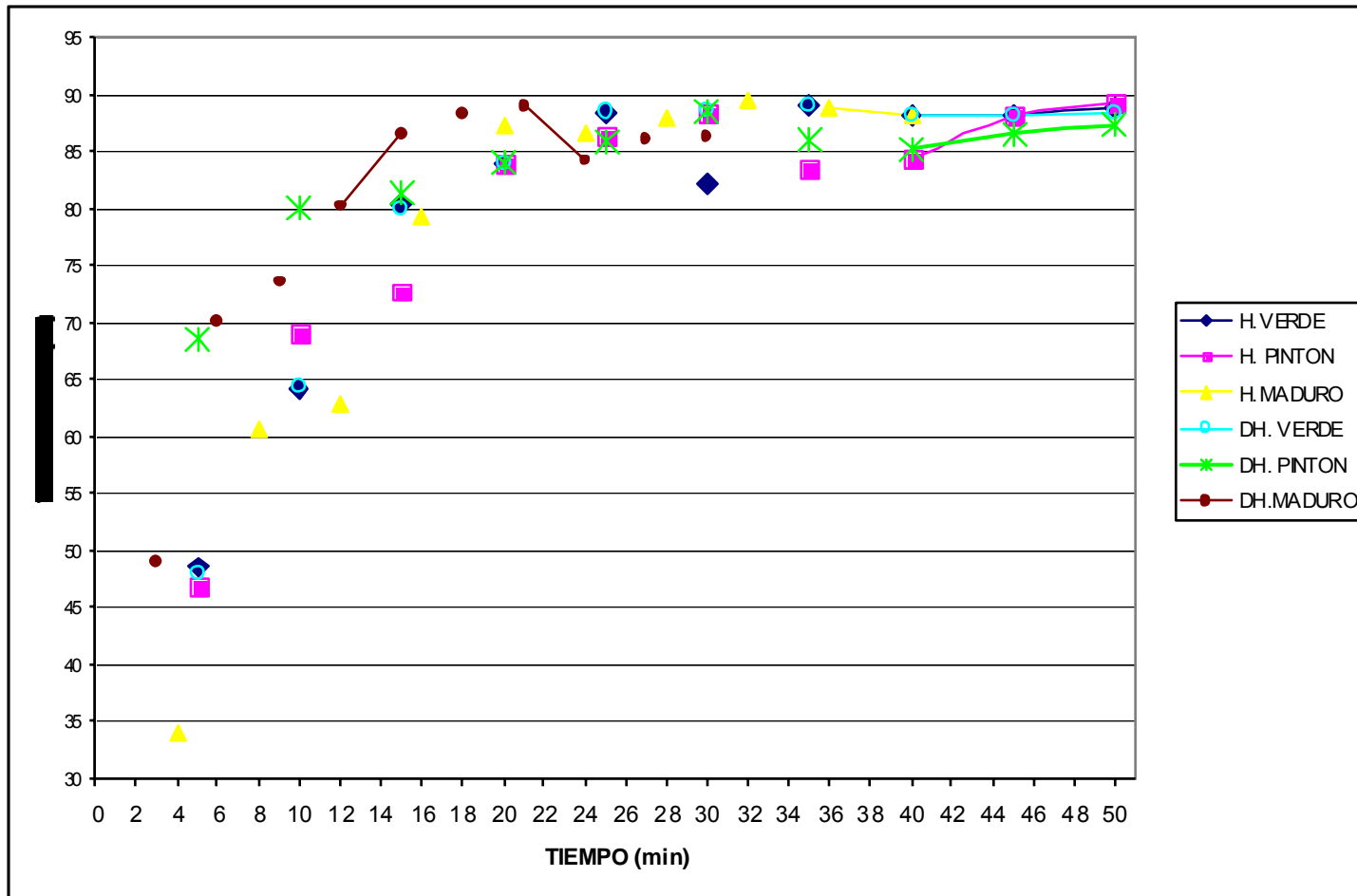
Al observar los resultados de la pre- experimentación, se concluyó que la cantidad de ensayos no fueron significativos y que los rangos de tiempo resultaron demasiado prolongados, por lo tanto la temperatura interna del producto no es precisa para la importancia que tiene dentro del estudio, al culminar la fase preliminar no se obtuvieron datos certeros de tiempo y temperatura.

Como se observa en la **Grafica 2**, las temperaturas comienzan a ser constantes en el minuto 15 con un rango de 80 - 85 °C indicando que en este punto se debe precisar una escala de tiempo más corta para realizar el análisis estadístico y obtener el punto de cocción para cada una de las muestras. La **Grafica 3** muestra la dispersión de los datos, esto dificultó la interpretación de los mismos, sin embargo se observó que estos tienen un comportamiento muy homogéneo a partir del minuto 30 con un rango de temperatura 85 – 90 °C.

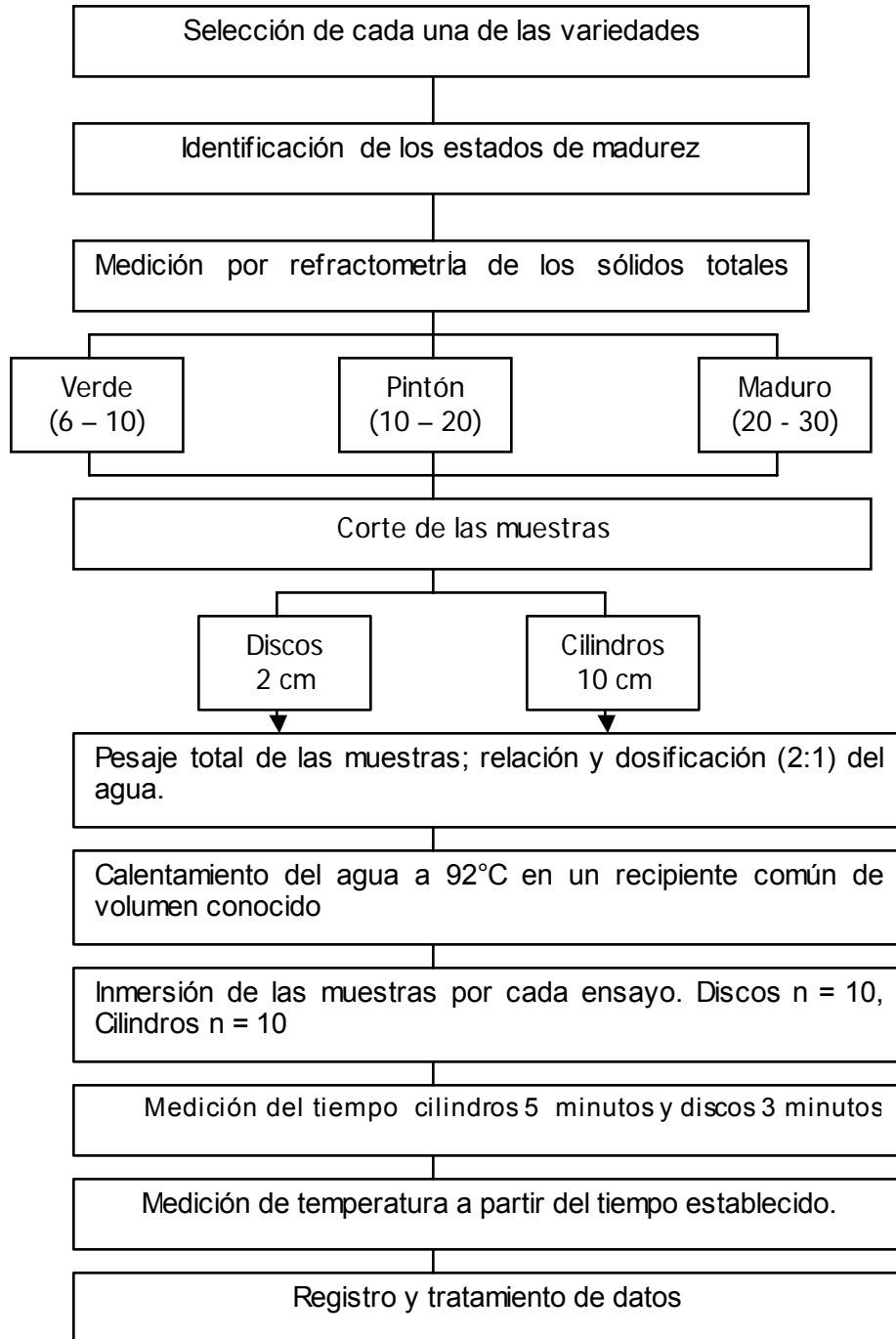
Grafica 2. Relación tiempo Vs temperatura para discos en los 3 estados de madurez y las dos variedades



Grafica 3. Relación tiempo Vs temperatura para cilindros en los 3 estados de madurez y las dos variedades



Representación del proceso pre-experimental



2.3. EXPERIMENTAL

Con base en los resultados obtenidos en la fase pre - experimental se estableció el diseño experimental mas adecuado en el que se definieron: el número de muestras, numero de ensayos y repeticiones que se requieran para así tener una cantidad de datos suficientes y poder manipularlos e interpretarlos adecuadamente.

2.3.1. Preparación de las muestras.

Los resultados arrojados en la fase pre-experimental fueron insuficientes, por consiguiente se realizaron pruebas por quintuplicado con cada variedad, en los tres estados de madurez y las dos formas; numero de ensayos (e = 60) con un número de muestras n para cilindros (n = 15) y para discos (n = 14) dando un total de muestras (n =870) **Tabla 11.**

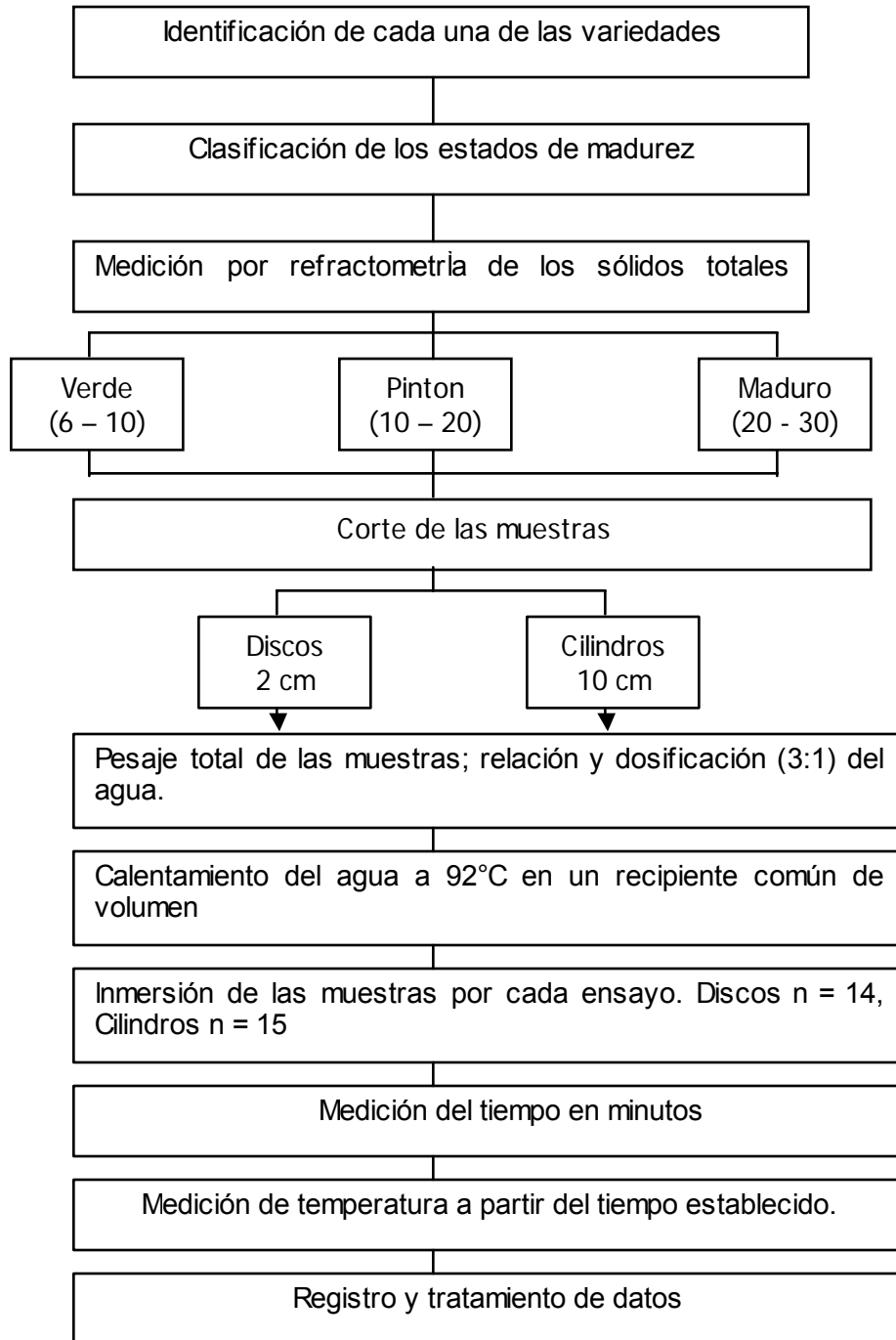
Tabla 11. Numero de muestras por ensayo fase experimental.

No	Código	ensayo	número	total (e*n)
1	PHVC	5	15	75
2	PHPC	5	15	75
3	PHMC	5	15	75
4	PHVD	5	14	70
5	PHPD	5	14	70
6	PHMD	5	14	70
7	PDHVC	5	15	75
8	PDHPC	5	15	75
9	PDHMC	5	15	75
10	PDHVD	5	14	70
11	PDHPD	5	14	70
12	PDHMD	5	14	70
Total ensayos y muestras		60	174	870

2.3.2. Condiciones del fluido de cocción

Con base en la pre-experimentación se determinó que la inmersión de las muestras en el fluido, se deben hacer en una proporción de (3 : 1); una vez el fluido alcanza su punto de ebullición 92°C, se introdujeron las muestras (n = 14 discos y n = 15 para cilindros por cada 5 ensayos para cada variedad, forma y estado de madurez), se contabilizó el tiempo a partir del minuto 15 para discos, se sacaron las muestras una a una cada minuto hasta el minuto 24 y a partir del minuto 30 para cilindros hasta el minuto 50; midiendo la temperatura interna del producto hasta encontrar dos valores repetidos; que indicó el punto de cocción por inmersión en agua del plátano.

Representación del Proceso experimental.



2.3.3. Determinación del Coeficiente de transmisión de calor (h).

Para la determinación del coeficiente de transmisión de calor (h) **Ec 10**, se tuvo en cuenta las propiedades del fluido (agua saturada) como: densidad, calor específico, conductividad térmica, viscosidad dinámica, número de Prandtl y el coeficiente de expansión volumétrica a temperatura de película 56°C con el siguiente orden:

T_p es la temperatura de película Ec. 9

T_o es la temperatura del producto a 20 °C,

T_∞ es la temperatura del fluido a 92°C

$$Ec .11 \rightarrow Gr_l = \frac{\rho^2 * g * \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\mu^2}$$

$$Ec .12 \rightarrow Ra_L = Gr * Pr$$

$$Ec .13 \rightarrow Nu = \left\{ \left[0.6 + \frac{0.387 * Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \right\}^{1/3} \text{ y / o}$$

$$Ec .14 \rightarrow Nu = 0.15 Ra_L^{1/3}$$

$$Ec .10 \rightarrow h = \frac{k}{D} Nu$$

2.3.4. Coeficiente de Conductividad térmica k

En la búsqueda del coeficiente k se analizaron los modelos matemáticos conocidos en conducción para cuerpos finitos: métodos de nodos, ecuaciones diferenciales de segundo orden que contienen las funciones de Bessel y estas a su vez dan origen a las cartas de Heisler. El modelo esta basado en datos experimentales de tiempo, temperatura y contiene los números adimensionales de Biot que contempla valores de 0.01 a 100, las constantes (A1, λ1) para todas las geometrías y el numero de Fourier; **Anexo 1**. Para el análisis de estos resultados se partió de la premisa que el coeficiente de conductividad k de los alimentos es menor a uno (k < 1 W/m°C)¹⁷.

Para obtener el valor de k (W/m °C) se llevo a cabo la siguiente metodología utilizando el modelo matemático de las funciones de Bessel:

$$Ec.8.y.9. \rightarrow \theta = \frac{T_o - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 Fo} \rightarrow \Delta Y = \frac{T_o - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

Despejo....Fo :

$$Fo = \left(\frac{\frac{\ln \frac{T_o - T_\infty}{T_i - T_\infty}}{A_1}}{\lambda_1^2} \right)$$

$$Ec..5 \rightarrow k = \frac{Fo * Lc^2}{t} * \rho * Cp$$

Lc = L/2 para discos

Lc = r para cilindros

2.3.5. Resultados y análisis de resultados experimentales

¹⁷ CENGEL yunus, Op. cit.,p 28

2.3.5.1. Condiciones del fluido y del proceso de cocción.

A partir de la primera fase se determinó que la proporción del fluido debía ser (3 : 1; tres gramos de agua por un gramo de plátano), porque el producto al culminar el tiempo del ensayo no contaba con una cantidad de agua suficiente de cubrimiento; posteriormente se realizaron ensayos por quintuplicado para cada variedad, forma y estado de madurez con muestras: n =14 para discos y n =15 para cilindros para un total de muestras: n = 870 **Tabla 11, Anexo 2**, lo que permitió tener una cantidad de datos suficientes de tiempo y temperatura para aplicar el análisis de Tukey, como herramienta estadística.

2.3.5.2. Definición de forma y tamaño de las muestras.

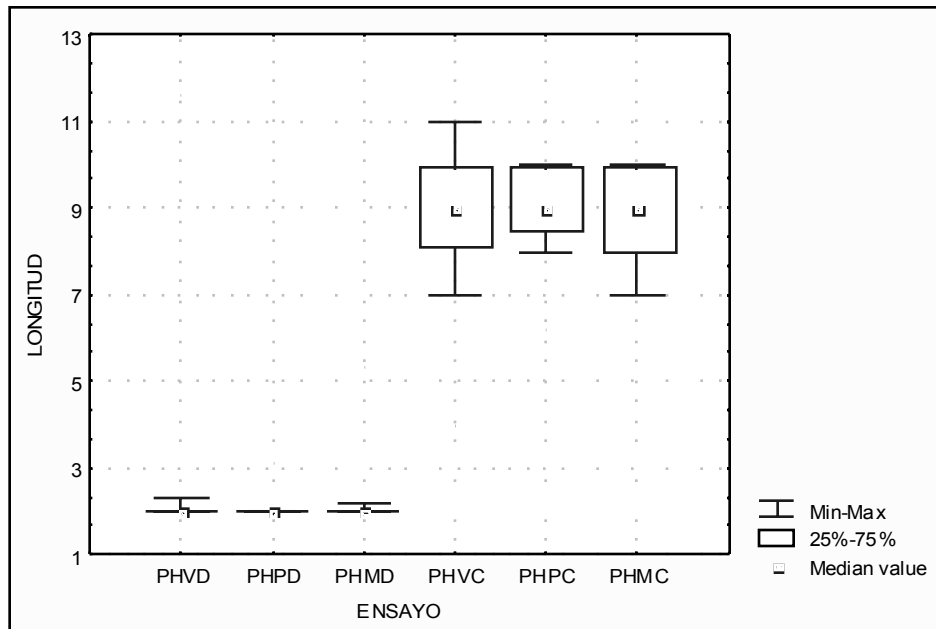
Con las siguientes graficas se demuestra que las mediciones realizadas de longitud, diámetro y peso, se tomaron correctamente y gracias a ello se obtuvieron características homogéneas en las dos variedades de plátano, y de esta manera obtener datos uniformes para su posterior manipulación.

Las **Graficas 4a, 4b** muestran el comportamiento homogéneo de los cortes por medio del máximo y mínimo valor de longitud para cada variedad, estado

de madurez y forma confirmando que los cortes se realizaron correctamente y se siguieron los parámetros ya existentes.

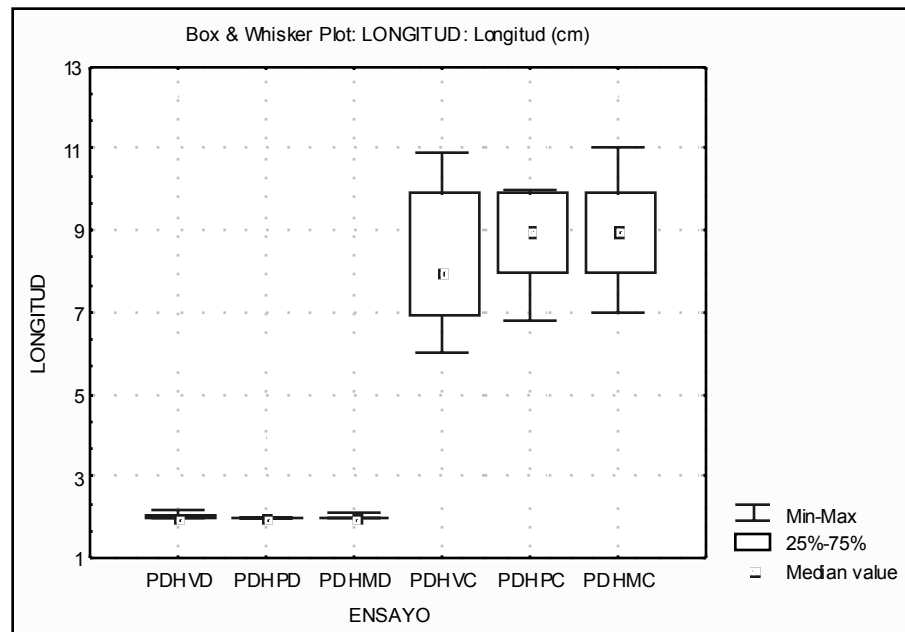
Grafico 4. Comportamiento del máximo y mínimo valor de longitud para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez

a.



En la grafica 4a, el máximo valor para el plátano Hartón discos PHD es de 2.5 cm y cilindros es de 11 cm, el mínimo valor para discos es de 2 cm, una media de 2 cm; y para cilindros 7 cm con una media de 9 cm (+/- 1 cm).

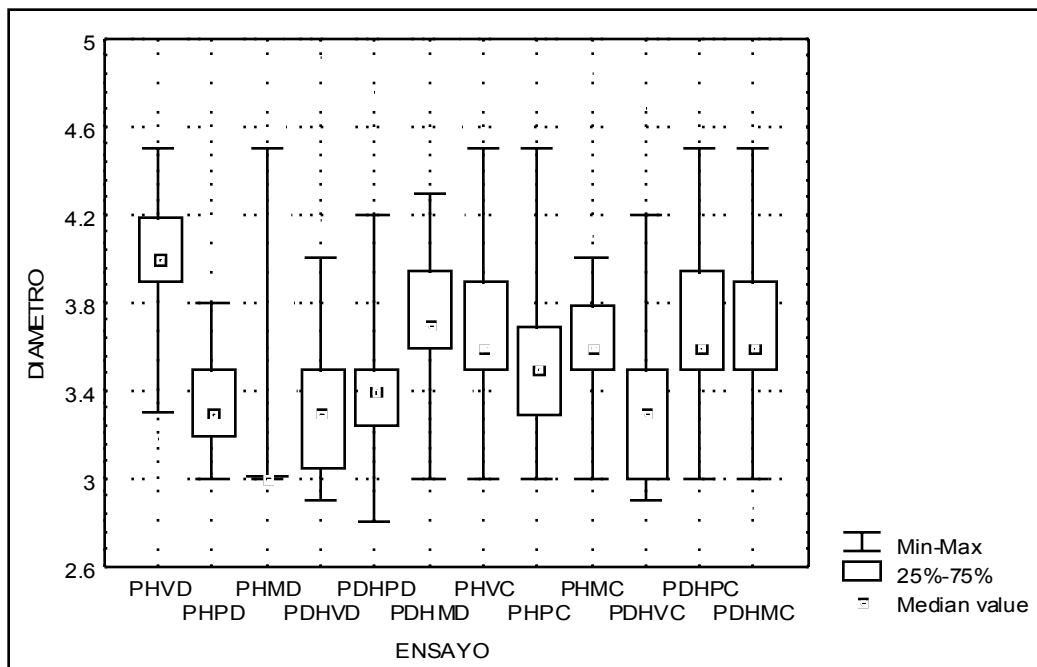
b.



En la **Grafica 4b**, el máximo valor para el plátano Dominico Hartón en discos PDHD es 2.2 cm y cilindros es de 11 cm, el mínimo valor para discos es de 2cm, con una media de 2 cm; para cilindros 6 cm con una media de 9 cm (+/- 1 cm).

Las Grafica 5, permite observar el comportamiento en el diámetro del plátano por medio del máximo valor, mínimo valor. El diámetro por ser una característica propia del plátano hace que la mediana no sea homogénea, sin embargo se pueden ver en la grafica los intervalos de valores para cada forma, estado de madurez y las dos variedades.

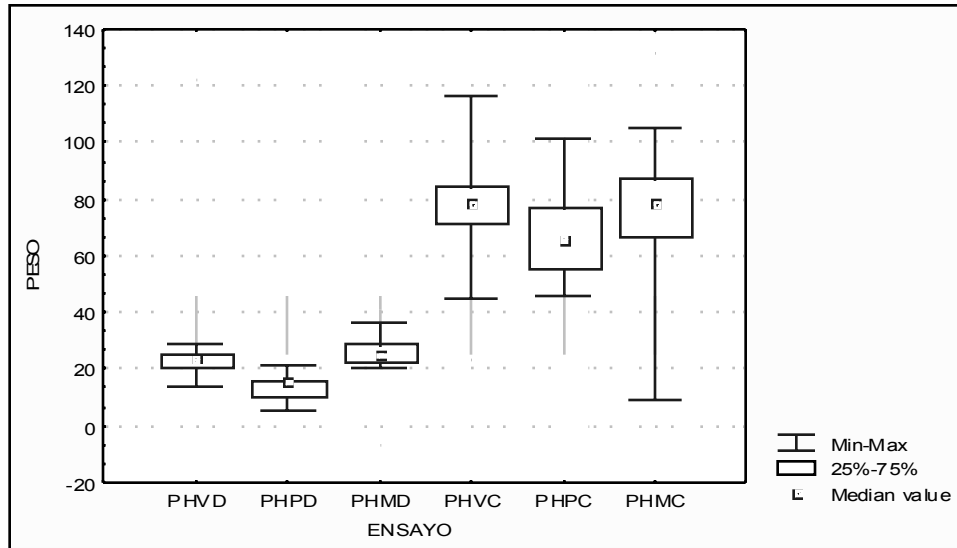
Grafico 5. Comportamiento del máximo y mínimo valor de diámetro para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez



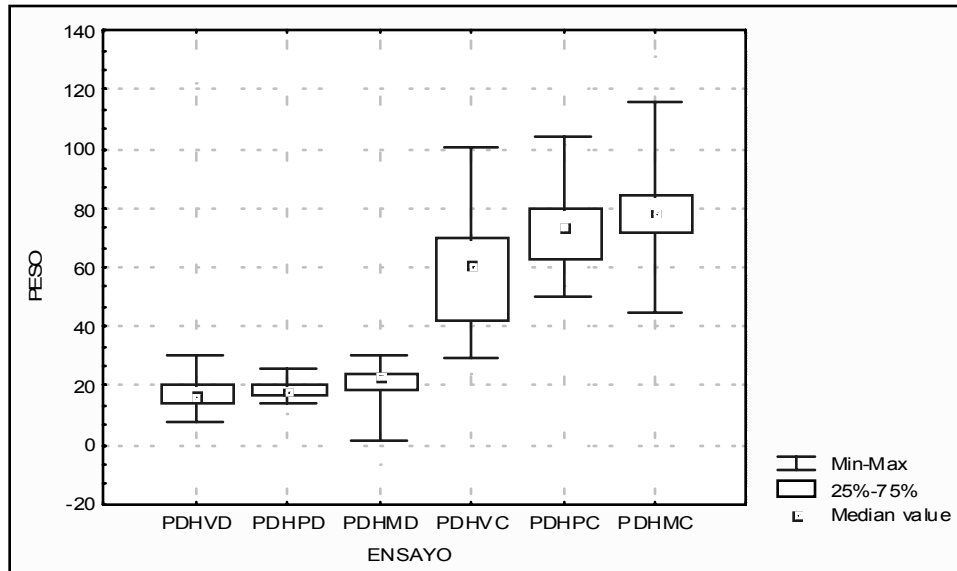
Las Graficas 6a, 6b, muestran el mínimo valor para discos de 8g, para cilindros de 30g, y un máximo valor para discos de 30g, para cilindros 130g (+/-10g), valores para cada variedad, estado de madurez y forma. La mediana tienen valores semejantes entre las dos variedades y los dos cortes, siendo para discos 19g (+/- 3g) y para cilindros 62g (+/-3g).

Grafico 6. Comportamiento del máximo y mínimo valor de peso para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez

a.



b.



A continuación se interpretan los resultados estadísticos para los (n = 870) datos obtenidos experimentalmente de tiempo y temperatura de cocción del plátano para cada forma, variedad y estado de madurez.

2.3.5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Por medio de análisis de varianza se determinó si el p valor es menor $p < 0.05$ o mayor $p > 0.05$, para luego encontrar diferencias o semejanzas en los estados de madurez, temperatura, tiempo y forma del plátano en las dos variedades; posteriormente se aplicó el test de Tukey por comparación de parejas y se plantearon hipótesis donde se pudo determinar si existen o no diferencias.

2.3.5.3.1. Índice de madurez °Brix.

El análisis de varianza **Tabla 12** muestra que se encontraron diferencias significativas entre los tres estados de madurez (verde, pintón y maduro), por lo tanto se acepta la hipótesis alterna H1. Esto corrobora que el plátano tiene una variación de los % de ° Brix según el punto de madurez.

H₀: no hay diferencias significativas en los tres estados de madurez (verde, pintón y maduro)

H₁: hay diferencias significativas en los tres estados de madurez (verde, pintón y maduro)

Tabla 12. Calculo del p valor por análisis de varianza (F) para °Brix del plátano.

Analysis of Variance (platdv.sta)								
Marked effects are significant at $p < .05000$								
	SS	df	MS	SS	df	MS		
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error	F	p
BRIX	1878,43722	3	626,145739	67297,9056	871	77,2651041	8,10386198	2,5074E-05

$p < 0.05$ hay diferencias significativas

a. ° Brix en función de la variedad y la forma.

El test de Tukey **Anexo 3**, se plantearon hipótesis H_0 , H_1 , y por comparación entre las dos variedades Hartón y Dominico hartón, se determinó que no existen diferencias significativas entre las dos variedades y las dos formas **Tabla 13**, por lo tanto se acepta la hipótesis nula H_0 .

H_0 : no hay diferencias significativas entre las dos variedades (Hartón, Dominico hartón) y las dos formas (discos y cilindros)

H_1 : hay diferencias significativas entre las dos variedades (Hartón, Dominico hartón) y las dos formas (discos y cilindros)

NOTA.

Para hacer más fácil la lectura, interpretación y comprensión de los datos se construye la **Tabla 13** teniendo como base el análisis estadístico de Tukey **Anexo 3** se codifican los resultados así: **(A)** no hay diferencias significativas; **(B)** hay diferencias significativas.

Tabla 13. Comparación de los grados °Brix para plátano Hartón y Dominico Hartón en sus tres estados de madurez en disco y cilindros.

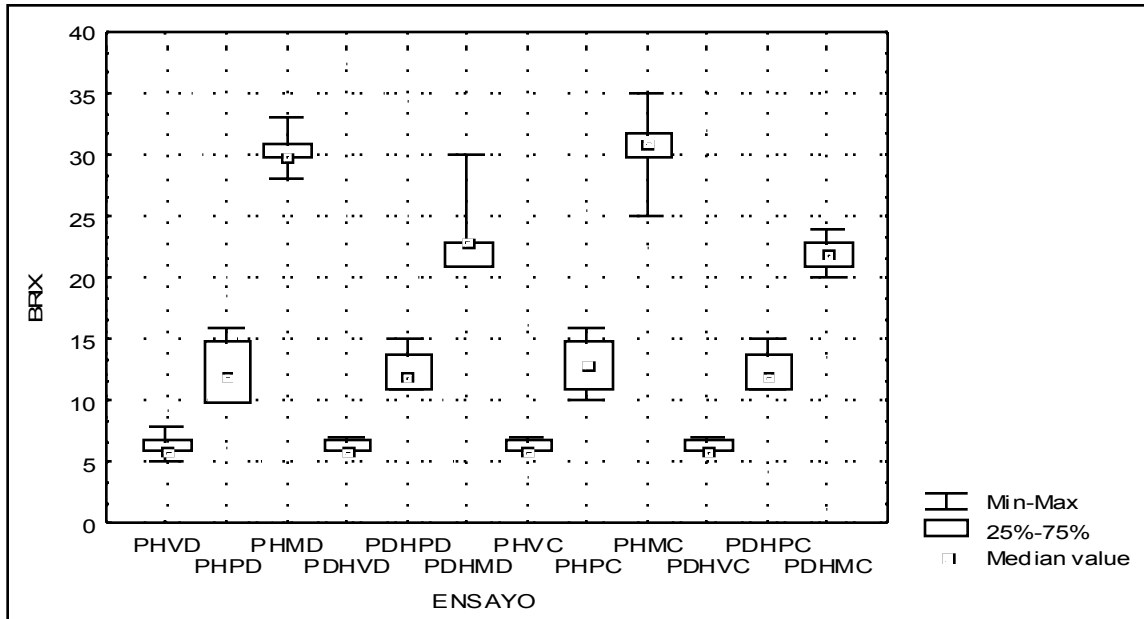
CODIGO	PHVD	PHPD	PHMD	PDHVD	PDHPD	PDHMD	PHVC	PHPC	PHMC	PDHVC	PDHPC	PDHMC
BRIX	M=6.3086	M=12.143	M=30.118	M=6.3914	M=12.543	M=22.400	M=6.3400	M=12.987	M=31.093	M=6.4800	M=12.595	M=22.187
PHVD		B	B	A	B	B	A	B	B	A	B	B
PHPD	B		B	B	A	B	B	A	B	B	A	B
PHMD	B	B		B	B	A	B	B	A	B	B	A
PDHVD	A	B	B		B	B	A	B	B	A	B	B
PDHPD	B	A	B	B		B	B	A	B	B	A	B
PDHMD	B	B	A	B	B		B	B	A	B	B	A
PHVC	A	B	B	A	B	B		B	B	A	B	B
PHPC	B	A	B	B	A	B	B		B	B	A	B
PHMC	B	B	A	B	B	A	B	B		B	B	A
PDHVC	A	B	B	A	B	B	A	B	B		B	B
PDHPC	B	A	B	B	A	B	B	A	B	B		B
PDHMC	B	B	A	B	B	A	B	B	A	B	A	

(A) No hay diferencias cuándo el p valor es $p > 0.05$

(B) Hay diferencias cuándo el p valor es $p < 0.05$

El comportamiento de los ° Brix medidos por refractometria fue homogéneo para cada estado de madurez como se observa en la Grafica 7 del máximo y mínimo valor. Se concluyó que el estado de madurez no depende de la forma (cilindro o disco) ni de la variedad (Hartón y Dominico hartón). Los rangos de madurez para el plátano obtenidos estadísticamente son: Plátano verde (PV) de 6 a 7 grados Brix plátano Pintón de 12 a 13, plátano maduro el mínimo rango es 22 grados Brix.

Grafica 7. Máximo y mínimo valor de ° Brix para las dos variedades, dos formas y tres estados de madurez



2.3.5.3.2. Tiempo de cocción por inmersión

a. Tiempo de cocción por inmersión en función del estado de madurez y la variedad.

No hay diferencias significativas entre las dos variedades (Hartón, Dominico hartón) y el estado de madurez (verde, pintón y maduro) se acepta Ho **Tabla 14**. Por consiguiente el tiempo de cocción por inmersión para el plátano no depende ni del estado de madurez **Anexo 4**, ni de la variedad **Anexo 5**, sin embargo entre discos y cilindros si existen diferencias.

H₀: no hay diferencias significativas en el tiempo de cocción entre las dos variedades (Hartón, Dominico hartón) y el estado de madurez (verde, pintòn y maduro)

H₁: hay diferencias significativas en el tiempo de cocción entre las dos variedades (Hartón, Dominico hartón) y el estado de madurez (verde, pintòn y maduro).

Tabla 14. Comparación por Test de Tukey del tiempo en función de la variedad

Tukey HSD test; Variable: TIEMPO (platdv.sta)				
Marked differences are significant at p < .05000				
	HD	HC	DD	DC
Tiempo min	M=20.634	M=35.000	M=21.214	M=34.933
HD		B	A	B
HC	B		B	A
DD	A	B		B
DC	B	A	B	

(A) No hay diferencias cuándo el p valor es $p > 0.05$

(B) Hay diferencias cuándo el p valor es $p < 0.05$

b. Tiempo de cocción por inmersión en función de la forma

De acuerdo con la Grafica 8 del máximo y mínimo valor, el tiempo de cocción del producto es homogéneo para cada forma, en discos la mediana tiene un rango de 20 a 21 min, en cilindros la mediana tiene un rango 34.9 a 35 min. Aplicando las herramientas estadísticas y por planteamiento de hipótesis; se concluye que hay diferencias significativas entre el tiempo de cocción para el producto en cada forma (discos y cilindros) y se acepta H₁. **Anexo 6, Tabla 15**

H₀: no hay diferencias significativas en el tiempo de cocción entre las formas cilindros y discos

H₁: hay diferencias significativas en el tiempo de cocción entre las formas cilindros y discos

Grafica 8. Máximo y mínimo valor para el tiempo en las tres variedades, tres estados de madurez y las dos formas del plátano

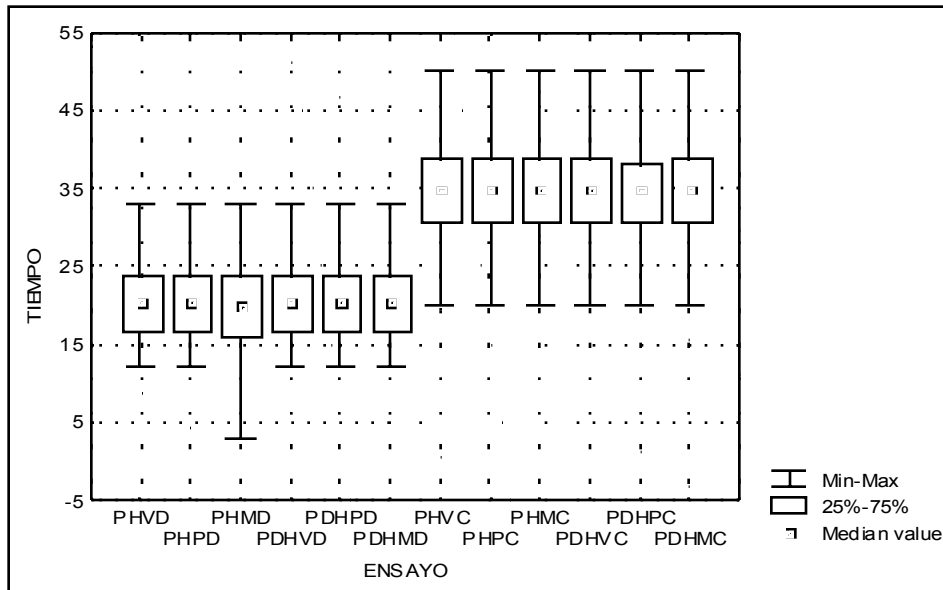


Tabla 15. Calculo del p valor por análisis de varianza (F) para plátano

Analysis of Variance (platdv.sta)								
Marked effects are significant at p < .05000								
	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error		
TIEMPO	43129,879	1	43129,879	36843,785	873	42,204	1021,95	0

p < 0.05 hay diferencias significativas

Tabla 16. Comparación por Test de Tukey del tiempo en función de la forma cilindros y discos

Tukey HSD test; Variable: TIEMPO (platdv.sta)		
Marked differences are significant at $p < 0.05000$		
Cod.	D	C
Tiempo min	M=20.920	M=34.967
D		B
C	B	

(A) No hay diferencias cuándo el p valor es $p > 0.05$

(B) Hay diferencias cuándo el p valor es $p < 0.05$

La prueba de hipótesis con 95% de confianza demostró que si existen diferencias significativas en el tiempo de cocción entre discos y cilindros **Tabla 16**; este no depende del estado de madurez, ni de la variedad por lo tanto se acepta la H_1 y se rechaza H_0 **Anexo 6**.

En la **Tabla 17** se muestra el tiempo de cocción para cada forma sin importar el estado de madurez, ni la variedad.

Tabla 17. Tiempo experimental de cocción por inmersión para discos y cilindros

Código	PD	PC
Tiempo (min)	20.920	34.967

PD: Plátano discos

PC: Plátano cilindros

2.3.5.3.3. Temperatura de cocción del plátano por inmersión en agua.

Para saber el punto de cocción del plátano; se tomo el tiempo experimental de cocción y la temperatura interna del producto en el momento en que T (°C) se estabilizó o se volvía repetitiva, esto indicó que el punto o tiempo

de cocción se alcanzo. Las **figuras 10 y 11**, muestran la forma como se tomo la temperatura para cilindros y discos.

Figura 10. Toma de temperatura central en cilindros.



Figura 11. Toma de temperatura central en discos.



a. Temperatura en función de la forma y la variedad: Hartón y Dominico hartón.

Para comparar la temperatura entre los estados de madurez, forma y variedad **Anexo 7**. Se construyó la **Grafica 9** de máximo y mínimo valor, esta muestra el comportamiento de la temperatura de cocción para discos y cilindros con una mediana entre 85 y 90 °C. Para lograr definir la temperatura de cocción se aplicó análisis de varianza **Tabla 18**, en ella se indica que hay diferencias significativas en la temperatura de cocción para las dos formas y las dos variedades. En la **Tabla 19** se muestra la comparación de rangos por el test de Tukey y se acepta la hipótesis alterna **Anexo 8**.

Ho: no hay diferencias significativas en la temperatura de cocción para las dos formas y las dos variedades.

H1: hay diferencias significativas en la temperatura de cocción para las dos formas y las dos variedades.

Tabla 18. Calculo del p valor por análisis de varianza (F) para discos y cilindros

Analysis of Variance (platdv .sta)								
Marked effects are significant at p < .05000								
	SS	df	MS	SS	Df	MS		
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error	F	p
T	6392,4001	11	581,12728	7788,3185	863	9,0247	64,393	0

p < 0.05 hay diferencias significativas

Tabla 19. Comparación de la temperatura por prueba de Tukey en función de la forma cilindros y discos

Tukey HSD test; Variable: T (platdv.sta)				
Marked differences are significant at $p < .05000$				
Codigo	HD	HC	DD	DC
T °C	M=84.843	M=90.407	M=85.697	M=89.355
HD		B	B	B
HC	B		B	B
DD	B	B		B
DC	B	B	B	

(A) No hay diferencias cuándo el p valor es $p > 0.05$

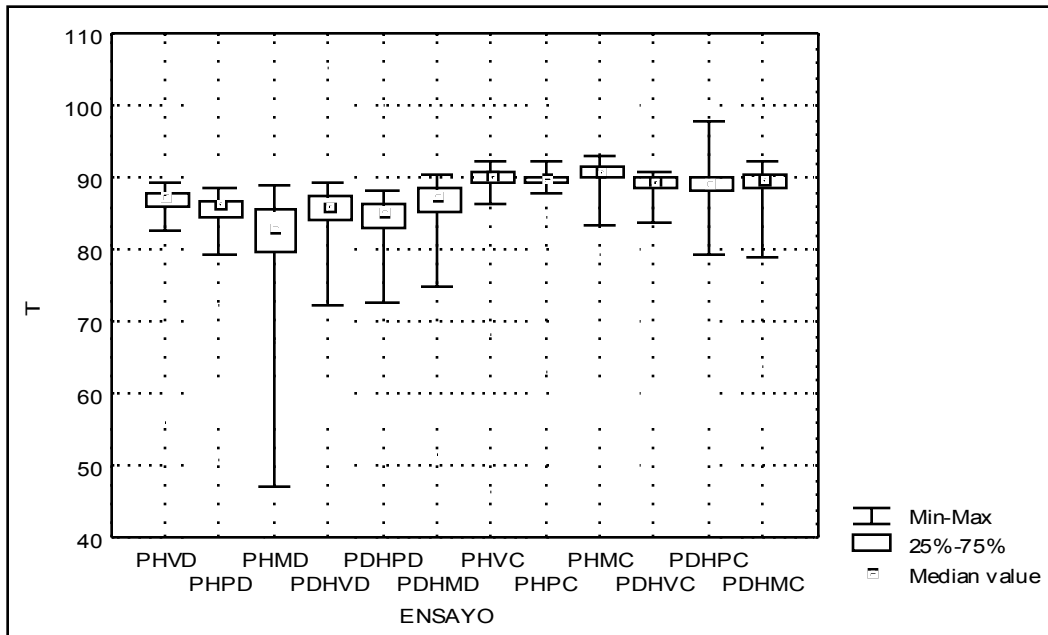
(B) Hay diferencias cuándo el p valor es $p < 0.05$

De acuerdo a la **Tabla 19**, se determino que el valor de la temperatura de cocción por inmersión para las dos variedades y las dos formas Tabla20 es:

Tabla 20. Temperatura (°C) de cocción por inmersión para la forma y variedad

T °C de cocción por inmersión para la forma y variedad			
HD	HC	DD	DC
84.843	90.407	85.697	89.355

Grafica 9. Máximo y mínimo valor para la temperatura en las 3 variedades, 3 estados de madurez y las dos formas del plátano



b. Temperatura en función del estado de madurez verde, pintón, maduro

En la **Grafica 9** de máximo y mínimo valor, se observa la tendencia y semejanza en el valor de temperatura entre el plátano verde y pintón. De acuerdo con el análisis de varianza y la comparación de rangos por el test de Tukey **Anexo 9**; se acepta H_0 puesto que entre el plátano verde y pintón no hay diferencias significativas en la temperatura de cocción. y estos a su vez son diferentes con el maduro. **Tabla 21.**

H_0 : no hay diferencias significativas en la temperatura de cocción entre el plátano verde y pintón; estos a su vez son diferentes con el maduro.

H1: hay diferencias significativas en la temperatura de cocción entre el plátano verde y pintón; estos a su vez son diferentes con el maduro.

Tabla 21. Comparación de la temperatura por prueba de Tukey en función del estado de madurez.

Tukey HSD test; Variable: T (platdv.sta)						
Marked differences are significant at $p < .05000$						
Código	HV	HP	HM	DV	DP	DM
T °C	M=87.267	M=86.910	M=81.626	M=85.739	M=84.901	M=86.951
HV		A	B	B	B	B
HP	A		B	B	B	B
HM	B	B		B	B	B
DV	B	B	B		A	B
DP	B	B	B	A		B
DM	B	B	B	B	B	

(A) No hay diferencias cuándo el p valor es $p > 0.05$

(B) Hay diferencias cuándo el p valor es $p < 0.05$

De la fase experimental se encuentra que::

- El tiempo de cocción del plátano para discos es 20.92 min y para cilindros es 34.967 min.
- La temperatura de cocción del plátano según la forma y variedad es: hartón discos 84.843 °C, hartón cilindros 90.407°C, dominico discos 85.697°C, dominico cilindros 89.355°C.
- Dos estados madurez, (verde y maduro) son apropiados para continuar con la investigación; puesto que la temperatura de cocción para el plátano verde y pintón son iguales.

A continuación se muestran los resultados con rangos para la temperatura y el tiempo de cocción del plátano en dos formas **Tabla 22.** y la temperatura de cocción en dos estados de madurez. **Tabla 23**

Tabla. 22. Tiempo y Temperatura de Cocción para el plátano en dos formas.

Código	Tiempo de cocción (min.)		Temperatura (°C)	
	PD	20.92	Aprox.21 min	84.84 °C
PC	34.96	Aprox 35 min	89.35 °C	89.5 +/- 1°C

PD. Plátano discos PC. Plátano cilindros

Tabla. 23. Temperatura de Cocción para el plátano en dos estados de madurez.

Código	Temperatura (°C)		
	T	Valor Aprox	Rango
PV	85.739 °C	86	+/- 3 °C
PM	81.626 °C	82	+/- 3 °C

PV. Plátano verde PM Plátano maduro

2.3.6. Cálculos de los coeficientes de transferencia de calor.

Una vez definidos los tiempos de cocción y la temperatura alcanzada en la línea central se procedió a calcular el valor del coeficiente de conductividad k ($W/m^{\circ}C$) del alimento a la temperatura inicial de proceso $20^{\circ}C$ y el valor del coeficiente de transmisión de calor h ($W/m^2^{\circ}C$) del fluido de cocción a temperatura de película.

Involucrando los tiempos experimentales y las temperaturas correspondientes en los modelos matemáticos de la transferencia de calor y se logro llegar a los cálculos obtenidos a continuación:

2.3.6.1. Calculo del coeficiente de transmisión de calor (h).

El fluido de cocción utilizado para la inmersión del producto fue agua a presión atmosférica de Bogota: 560 mm Hg alcanzando una temperatura de ebullición a 92 °C. La transferencia de calor del agua hacia el plátano se realizó por convección natural, hallando el coeficiente h (W/m²°C) en función del número adimensional Nusselt (Nu), este de Rayleigh (Ra), este de Grashof (Gr) y de Prandtl (Pr).

Los números de Grashof (Gr) y de Prandtl (Pr) involucran propiedades termo-físicas del agua tabuladas a temperatura promedio (Tp) llamada temperatura de película **Tabla 24**

$$T_p = \frac{(20 + 92)^\circ\text{C}}{2} = 56^\circ\text{C}$$

T_o = Temperatura del producto 20 °C

T_∞ = Temperatura del fluido 92°C

Tabla 24. Propiedades físicas del fluido de cocción a la temperatura de película (Tp= 56°C)

Propiedades	Símbolo	Unidad	Valor
Densidad	ρ	Kg / m ³	985.58
Capacidad calorífica	Cp	J / Kg * °K	4184.6
Conductividad térmica	K	W / m * °K	0.651
Coeficiente de expansión volumétrica	β	1 / °K	0.5236x10 ⁻³
Viscosidad dinámica	μ	Kg / m * s	0.496x10 ⁻³
Prandtl	Pr	-	3.198

Fuente: Cengel, Transferencia de calor. Tabla A – 9. Propiedades del agua saturada Editorial MG HILL 2ª Edición. 2004

- **Calculo tipo del coeficiente de transmisión de calor (h) en forma cilíndrica PHVC**

$$L = D^3$$

$$Ec.11 \rightarrow Gr = \frac{\left(985.58 \frac{kg}{m^3}\right)^2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.5236 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ K}\right) (0.0365m)^3 (72^\circ K)}{\left(0.496 \times 10^{-3} \frac{kg}{ms}\right)^2} = 7.09 \times 10^7$$

$$Ec.12 \rightarrow Ra = (7.09 \times 10^7)(3.198) = 2.268 \times 10^8$$

$$Ec.13 \rightarrow Nu = \left[0.6 + \frac{\left(0.387.\right) \left(2.268 \times 10^8\right)^{0.166}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{3.198}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 = 84.3835$$

$$Ec.10 \rightarrow h = \left(\frac{0.65 \frac{W}{m^\circ C}}{0.0365m} * 84.3835 \right) = 1502.76 \frac{W}{m^2 \circ C}$$

- **Calculo tipo del coeficiente de transmisión de calor (h) en placa plana o discos PVD.**

EL número adimensional de Prandt (Pr), se obtuvo del anexo 19.

$$L = 0.9D$$

$$Ec.11 \rightarrow Gr = \frac{\left(985.58 \frac{kg}{m^3}\right)^2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) \left(0.5236 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ K}\right) (0.03157m)^3 (72^\circ C)}{\left(0.496 \times 10^{-3} \frac{kg}{ms}\right)^2} = 4.5901 \times 10^7$$

$$Ec.12 \rightarrow Ra = (4.5901 \times 10^7) (3.198) = 1.467 \times 10^8$$

$$Ec.14 \rightarrow Nu = (0.15)(1.467 \times 10^8)^{1/3} = 78.6162$$

$$Ec.10 \rightarrow h = \left(\frac{0.65 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{0.03157m} * 78.6162 \right) = 1618.53 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

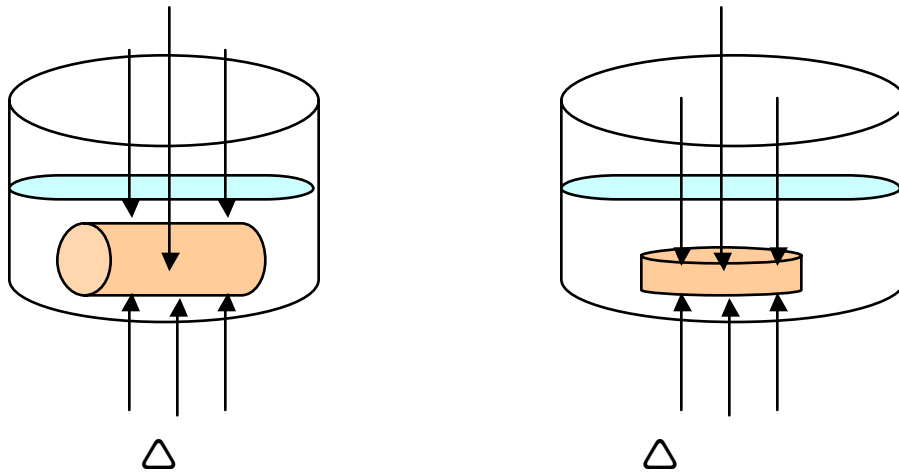
Al realizar la totalidad de los cálculos para el plátano verde y maduro en las dos variedades (**Anexo 10 y 11**), se determinó que el coeficiente de transmisión de calor **h** depende de las propiedades del fluido a temperatura de película (56°C), y que del producto únicamente se requiere la forma contemplada por medio de la longitud característica; por esta razón los resultados son homogéneos para cada una de las formas sin importar el estado de madurez ni la variedad.

2.3.6.2. Calculo del coeficiente de conductividad térmica k.

Para realizar los cálculos de transferencia de calor, el modelo aplicado fue el de las ecuaciones diferenciales de segundo orden en una dimensión, puesto que la transferencia de calor en cilindros es esencialmente radial debido a

que el fluido de calentamiento rodea totalmente el producto y en discos la transferencia de calor se realiza por el plano circular **figura 12**.

Figura 12. Dirección de la transferencia de calor en el plátano.



Este modelo comprende la ecuación:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} * \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} \text{ Que dan origen a las funciones acotadas de Bessel}$$

Ec. 6 y Ec. 7; y estas a su vez dieron origen a la construcción de las cartas de Heisler.

Se descartó el método de nodos por que en este modelo es necesario tomar temperaturas con termocùplas en diferentes puntos del producto, y el cable del mecanismo se vería influenciado en primera instancia por la temperatura del fluido lo cual daría una lectura errónea de la temperatura del producto.

Para obtener el coeficiente de conductividad térmica k ; se partió de la premisa que en los alimentos: ($k < 1 \text{ W / m}^\circ\text{C}$). Se tomaron los valores de A_1 y λ_1 con rangos de 0.01 a 100 de Biot,. Los valores de Biot **Anexo 1** fueron expandidos con intervalos de 5 en 5 para tener rangos mas pequeños

de A_1 y λ_1 y así se pudo determinar del número de Fourier y por medio de este se llegó a un valor de k ; se determinó que el valor de $k < 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ se encontraba en el rango de Biot de 10 a 100 por esto se descartaron los valores de Biot comprendidos entre 0.01 a 9; en los **Anexo 12, 13 y 14**, se muestran la totalidad de los datos obtenidos.

2.3.6.2.1. Cálculo tipo del coeficiente de conductividad térmica k para el producto en cilindros.

La conducción de calor a través de un alimento depende del tiempo de cocción del mismo, la longitud característica del producto, la densidad y el calor específico, todas estas propiedades son contempladas por el número de Fourier como se muestra a continuación:

L_c cilindros = r (metros)

L_c discos = $(L/2)$ (metros)

λ_1, A_1 = Constantes ANEXO 1

$(T_o - T_\infty / T_i - T_\infty) = \Delta Y$ del fluido ($^\circ\text{C}$)

t =Tiempo (segundos)

- PHVC:

$$Ec.5 \rightarrow Fo = \left[\frac{\ln\left(\frac{90.35 - 92}{20 - 92}\right)}{\frac{1.6012}{2.3761^2}} \right] = 0.7524$$

$$k = \left(\frac{(0.7524)(0.01826m)^2}{2100s} \right) \left(848.40 \frac{kg}{m^3} * 3054.82 \frac{J}{kg^{\circ}C} \right) = 0.309653 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

En el **Anexo 14** se encuentran un compilado de los valores de k (W/m°C) obtenidos por las funciones de Bessel que contempla el numero adimensional de Fourier y este a su vez propiedades del platano.

2.3.6.3. Análisis estadístico para el coeficiente de conductividad térmica k.

Como último paso se hizo un análisis estadístico para encontrar diferencias o semejanzas del valor de k W/m°C por comparación y se aplicó el Test de Tukey, para la forma, estado de madurez y variedad:

a. Comparación por el test de Tukey del coeficiente de conductividad k, en función de la forma.

Al comparar el coeficiente k para discos y cilindros, por planteamiento de hipótesis y aplicando el test de Tukey con nivel de confianza del 95% **Anexo**

15a y 15b, se aceptó la hipótesis nula puesto que no hay diferencias significativas del valor de k ($W/m^{\circ}C$) entre las dos formas discos y cilindros. Por consiguiente se corrobora la teoría de transferencia de calor que dice: que el coeficiente de conductividad k ($W/m^{\circ}C$) no depende de la forma.

H₀ = no hay diferencias significativas de k ($W/m^{\circ}C$) entre las dos formas discos y cilindros.

H₁ = hay diferencias significativas de k ($W/m^{\circ}C$) entre las dos formas discos y cilindros.

b. Comparación por el test de Tukey del coeficiente de conductividad k , en función variedad y el estado de madurez.

Se aplicó análisis de varianza **Tabla 25** donde se encontraron diferencias significativas entre los coeficientes de conductividad k por el método de Fourier por lo tanto se aceptó la hipótesis alterna.

Tabla 25. Cálculo del p valor por análisis de varianza (F) k Fo).

Analysis of Variance (final.sta)								
Marked effects are significant at $p < 0.05000$								
Codigo	SS	df	MS	SS	df	MS		
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error	F	p
KFO	0,223461346	5	0,044692269	0,030333835	108	0,000280869	159,1215	0

La **Grafica 10** de máximo y mínimo valor; muestra el comportamiento del k ($W/m^{\circ}C$) obtenido por Fourier para cada una de las formas. Se comparó el resultado por el método de Fourier en función del estado de madurez y la variedad, arrojando diferencias significativas entre sí **Anexo 15**; se aceptó la hipótesis alterna y se obtuvieron los siguientes resultados: **Tabla 26**.

H₀ = no hay diferencias significativas de k (W/m°C) entre el estado de madurez y la variedad

H₁ = hay diferencias significativas de k (W/m°C) entre el estado de madurez y la variedad

Tabla 26. Coeficiente de conductividad térmica en función de dos estados de madurez para el plátano Hartón y Dominico Hartón a 20 °C.

Tukey HSD test; Variable: k Fo (final.sta)						
Marked differences are significant at p < .05000						
	PH	PHV	PHM	PDH	PDHV	PDHM
k (w/m°C)	0.31063	0.28382	0.40509	0.30615	0.28178	0.35996
PH		B	B	A	B	B
PHV	B		B	B	A	B
PHM	B	B		B	B	B
PDH	A	B	B		B	B
PDHV	B	A	B	B		B
PDHM	B	B	B	B	A	

(A) No hay diferencias cuándo el p valor es p > 0.05

(B) Hay diferencias cuándo el p valor es p < 0.05

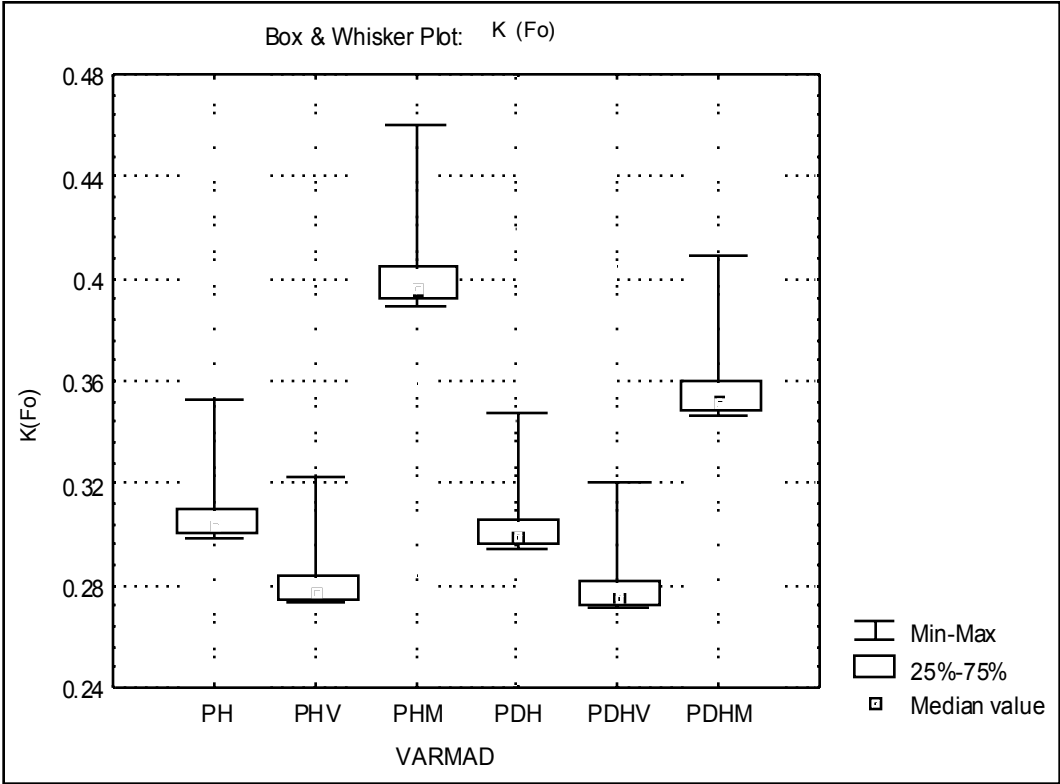
Como se observa en la **Tabla 27** los valores de k son diferentes, dado que el método de Fo contempla las propiedades del plátano como: densidad, calor específico, tiempo de cocción y temperatura interna; lo que hace que el valor de k sea preciso para cada estado de madurez y variedad **Anexo 16**.

Tabla 27. Coeficiente de conductividad térmica para dos estados de madurez plátano Hartón y Dominico Hartón a 20 °C.

Codigo	PH	PHV	PHM	PDH	PDHV	PDHM
k (w/m°C)	0.31063	0.28382	0.40509	0.30615	0.28178	0.35996

En la **Grafica 10** se observa que el comportamiento de k ($W/m^{\circ}C$) obtenido por el método de Fourier es diferente para las dos variedades y los dos estados de madurez.

Grafica 10. Máximo y mínimo valor del valor de k ($W/m^{\circ}C$) obtenido por el método de Fourier



c. Calculo tipo para la obtención de Biot a partir del coeficiente de conductividad obtenido por Fo.

Para obtener un intervalo más estrecho del valor de Biot y las constantes A1 y λ1, se retrocedió matemáticamente, partiendo del valor del coeficiente de conductividad k obtenido por el número de Fourier **Anexo 17 y 18** para cada variedad y estado de madurez del plátano.

- PHVC.

$$Ec.4 \rightarrow Bi = \frac{1502.76 \frac{W}{m^{\circ}C} * 0.01826m}{0.28382 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}} = 96.68$$

El Biot obtenido depende de: la longitud característica del producto, (adicionalmente se contemplaron formas como placas planas, cilindros), y del coeficiente de transmisión de calor **h** que se obtuvo con las propiedades del fluido de cocción a temperatura de película.

Por interpolación se obtuvieron los valores de las constantes A1, λ1 pared plana como se muestra en el **Anexo 17 y 18**.

Tabla 28. Datos interpolados de Biot a partir de k.

Biot	A1	λ1
95	1.60137	2.37853
96.68	1.60141	2.37846
100	1.6015	2.3809

CONCLUSIONES

1. En la fase pre –experimental se halló el tiempo de cocción por inmersión en agua y se determinó que los intervalos de tiempo de 3 minutos para discos y 5 minutos para cilindros, resultaban prolongados; para los tres estados de madurez, dos formas y dos variedades.
2. Las pruebas pre experimentales arrojaron datos insuficientes; esto permitió determinar que en la fase experimental se debían realizar pruebas por quintuplicado para cada ensayo y así obtener datos significativos para la aplicación del análisis estadístico por el método de Tukey.
3. Por medio de hipótesis y el test de Tukey se comprobó que el tiempo de cocción experimental por inmersión en agua, es diferente. Para cilindros es de 35 minutos y para discos de 21 minutos.
4. Por medio de, análisis de varianza, comparación de parejas por test de Tukey y gráficamente, se comprobó que entre el plátano verde y el pintón no hay diferencias significativas en la temperatura de cocción y estos a su vez son diferentes con el maduro. Por esta razón se trabajó con dos estados de madurez (verde y maduro) para obtener el coeficiente de transmisión de calor h ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) y el coeficiente de conductividad k ($W/m \text{ } ^\circ C$).
5. El modelo matemático que más se ajustó a los datos obtenidos, es el de las ecuaciones diferenciales de segundo orden que dan origen a las funciones acotadas de Bessel que incluye dentro de sus ecuaciones el número adimensional de Fourier.

6. El tamaño o la masa del producto es un parámetro que permite alcanzar lenta o rápidamente el tiempo y la temperatura como indicadores de cocción.
7. El área superficial, la masa y/o el volumen de transferencia de calor se relaciona con el tiempo y la temperatura en un alimento, dado que, si estas son dimensionalmente grandes, mayor es el tiempo para alcanzar la temperatura de cocción del producto.
8. Se determinó que el valor del coeficiente de conductividad k por el número de Fourier es preciso, porque en él se tienen en cuenta propiedades del producto como densidad, calor específico, tiempo de cocción entre otros.
9. Se elaboró una propuesta de modelo matemático para 2 estados de madurez estrechando intervalos de datos de los coeficientes usados en la solución aproximada de un término de la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio en pared plana y cilindro; partiendo del k obtenido por Fo .
10. Se encontró el coeficiente de conductividad k del plátano Hartón verde, plátano Hartón maduro y Dominico hartón verde, Dominico hartón maduro, sin embargo no se logró establecer una ecuación general para el cálculo del mismo; puesto que para ello se requiere hacer otro tipo de investigación en donde se monitoree constantemente la maduración del plátano verde hasta su madurez total.
11. La forma del plátano no influye en el resultado del coeficiente de conductividad k ; por lo tanto se confirmó la teoría de transferencia de calor

que dice: el coeficiente de conductividad k no depende del tamaño, ni forma del objeto, material o producto.

12. Los datos de tiempo, temperatura y el coeficiente de conductividad térmica k , obtenidos en esta investigación son la base para realizar el diseño y/o dimensionamiento de equipos para el montaje de una planta de procesos o para la industria.

13. Se determino que esta investigación es un primer paso para poder realizar una modelación matemática y llegar a una ecuación que dentro sus variables contenga el porcentaje de grados brix.

14. Se le brinda a los estudiantes de ingeniería de alimentos y carreras afines datos certeros de conductividad térmica k , del plátano para que sea utilizadas como una herramienta dentro del plan de estudios.

15. Gracias a los datos arrojados por la investigación se pueden acortar procesos manipulando variables para así disminuir costos.

16. La transferencia de calor es una herramienta teórica para poder tomar decisiones por medio de resultados matemáticos y disminuir el % de error en la práctica y las operaciones.

RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos se recomienda hacer un seguimiento minucioso de la maduración del plátano para poder definir la ecuación general y llegar a calcular el coeficiente de conductividad k en cualquier punto de madurez y que a su vez el porcentaje de grados Brix sea una variable dentro de la ecuación y así poder hacer una modelación matemática y definir la ecuación.

Es importante contar con herramientas de laboratorio y/o equipos que permitan la toma de datos para lograr aplicar otros métodos que contemplan la transferencia de calor y así poder hacer comparaciones entre ellos para llegar a un solo resultado.

Para otras investigaciones se recomienda conocer con anterioridad el número de ensayos preliminares que se deben llevar a cabo; realizando profundización en la teoría de diseños experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARCILLA Y TORRES. Adaptado de et al. Elaboración Corpoica., 1997

CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor. 2ed. ed. Mc Graw Hill 2004

CASTRILLO Arias Consuelo. Distribución de las especies de picudo del plátano y evaluación de sus etomopatogenos nativos en el departamento de Risaralda. Corpoica, Umatas Risaralda

CORPOICA. Manual técnica; manejo integrado del cultivo de plátano.

DADZIE B.K et. Evaluación rutinaria poscosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Guías técnicas inibap.

GALLO. F. Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Armenia Colombia, 1997. p. 93 -95.

GUZMÁN-PIEDRAHITA Óscar Adrián & Jairo Castaño-Zapata, Ph.D. Reconocimiento de nematodos Fitopatógenos en plátanos dominico Hartón (musa aab simmonds), África, Fhia-20 y fhia-21 en la granja montelindo, Municipio de Palestina (caldas), Colombia.

HOLMAN. J. P. Transferencia de calor. 8 edición. 1ª Edición. ed. Mc Graw Hill 1998

ICBF. Tabla de composición de alimentos colombianos 2001

INCROPERA, Frank. Fundamentos de transferencia de Calor. 4° Edición. Editorial Pearson. 1999.

KARLEKAR B. v. ET ALL. Transferencia de Calor. 2° Edición. Editorial Interamericana. Mexico D. F. 1985.

KREITH. Frank et. Principios de transferencia de calor. 6° edición. Editorial Thomson Learning. 2001.

NTC. Norma técnica Colombiana 1190, estados de maduración del plátano.

NTC. Norma técnica Colombiana. Compendio tesis y otros trabajos de grado. 2005 - 2006

PELAEZ. Et al CCIA. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. Manejo integrado del cultivo del plátano.

SINGH Paul. Introducción a la ingeniería de los alimentos. Edit. Acribia S. A España. 1998

<http://web.www.infoagro.com>

<http://www.repsolypf.com/esp/bienvenidoalinfinito/casayhogar/coccion2003/metodos/metodos.asp>

<http://www.alimentaciónsana.com.ar/informaciones/novedades/coccion%20ejemplos.htm>

ANEXO 3. Tratamiento estadístico por el test de Tukey de los grados °Brix para plátano Hartón y Dominicó Hartón en sus tres estados de madurez en disco y cilindros

Tukey HSD test; Variable: BRIX (platdv.sta)												
Marked differences are significant at p < .05000												
	PHVD	PHPD	PHMD	PDHVD	PDHPD	PDHMD	PHVC	PHPC	PHMC	PDHVC	PDHPC	PDHMC
	M=6.3086	M=12.143	M=30.118	M=6.3914	M=12.543	M=22.400	M=6.3400	M=12.987	M=31.093	M=6.4800	M=12.595	M=22.187
PHVD		1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999878	1,74861E-05	1,74861E-05	1	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999737731	1,74861E-05	1,74861E-05
PHPD	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,805866107	1,74861E-05	1,74861E-05	0,632412479	1,74861E-05	1,74861E-05	0,632412479	1,74861E-05
PHMD	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,808661069	1,74861E-05	1,74861E-05	0,808661069	1,74861E-05	1,74861E-05	0,653876163
PDHVD	0,999999878	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999999	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999703	1,74861E-05	1,74861E-05
PDHPD	1,74861E-05	0,805866107	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,653874616	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999999	1,74861E-05
PDHMD	1,74861E-05	1,74861E-05	0,805866107	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,808661069	1,74861E-05	1,74861E-05	0,99795422
PHVC	1	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999999	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,999958069	1,74861E-05	1,74861E-05
PHPC	1,74861E-05	0,632412479	1,74861E-05	1,74861E-05	0,653874616	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,794147786	1,74861E-05
PHMC	1,74861E-05	1,74861E-05	0,998999703	1,74861E-05	1,74861E-05	0,808661069	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,808661069
PDHVC	0,999737731	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999703	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999958069	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05
PDHPC	1,74861E-05	0,653874616	1,74861E-05	1,74861E-05	0,999999999	1,74861E-05	1,74861E-05	0,794147786	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05
PDHMC	1,74861E-05	1,74861E-05	0,653876163	1,74861E-05	1,74861E-05	0,99795422	1,74861E-05	1,74861E-05	0,808661069	1,74861E-05	1,74861E-05	

Diferencias significativas cuando p < 0,05

ANEXO 4. Tratamiento estadístico por el test de Tukey para el tiempo en función en tres estados de madurez, y dos variedades

Tukey HSD test; Variable: TIEMPO (platdv.sta)												
Marked differences are significant at $p < .05000$												
Codigo	PHVD	PHPD	PHMD	PDHVD	PDHPD	PDHMD	PHVC	PHPC	PHMC	PDHVC	PDHPC	PDHMC
Tiempo min	M=21.214	M=21.214	M=21.566	M=21.214	M=21.214	M=21.214	M=35.000	M=35.000	M=35.000	M=35.000	M=34.797	M=35.000
PHVD		1	0,933566931	1	1	1	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PHPD	1		0,933566931	1	1	1	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PHMD	0,933566931	0,933566931		0,933566931	0,933566931	0,933566931	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PDHVD	1	1	0,933566931		1	1	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PDHPD	1	1	0,933566931	1		1	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PDHMD	1	1	0,933566931	1	1		1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PHVC	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05		1	1	1	1	1
PHPC	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1		1	1	1	1
PHMC	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1	1		1	1	1
PDHVC	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1	1	1		1	1
PDHPC	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1	1	1	1		1
PDHMC	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1	1	1	1	1	

Diferencias significativas cuando $p < 0,05$

ANEXO 5. Tratamiento estadístico por el test de Tukey del tiempo en función de la forma y variedad

Tukey HSD test; Variable: TIEMPO (platdv.sta)				
Marked differences are significant at $p < .05000$				
	HD	HC	DD	DC
	M=20.634	M=35.000	M=21.214	M=34.933
HD		7,67332E-06	0,793784307	7,67332E-06
HC	7,67332E-06		7,67332E-06	0,999535464
DD	0,793784307	7,67332E-06		7,67332E-06
DC	7,67332E-06	0,999535464	7,67332E-06	

Diferencias significativas cuando $p < 0,05$

ANEXO 6. Tratamiento estadístico por el test de Tukey del tiempo en función de la forma

Tukey HSD test; Variable: TIEMPO (platdv.sta)		
Marked differences are significant at $p < 0.05000$		
	D	C
	M=20.920	M=34.967
D		8,73192E-06
C	8,73192E-06	

Diferencias significativas cuando $p < 0,05$

ANEXO 7. Tratamiento estadístico para la temperatura de cocción.

Tukey HSD test; Variable: T °C (platdv.sta)												
Marked differences are significant at p < .05000												
Codigo	PHVD	PHPD	PHMD	PDHVD	PDHPD	PDHMD	PHVC	PHPC	PHMC	PDHVC	PDHPC	PDHMC
T (°C)	M=87.267	M=85.910	M=81.626	M=85.739	M=84.401	M=86.951	M=90.353	M=90.093	M=90.775	M=89.327	M=89.195	M=89.543
PHVD		0,239886535	1,74861E-05	0,10542496	0,10542496	1,74861E-05	1,75113E-05	1,82552E-05	1,74862E-05	0,002207259	0,006667723	0,00033139
PHPD	0,239886535		1,74861E-05	0,999999963	0,117121537	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74863E-05	1,74878E-05	1,74861E-05
PHMD	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,87774E-05	0,804559029	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PDHVD	0,10542496	0,999999963	1,74861E-05		0,260857547	4,78488E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74862E-05	1,74861E-05
PDHPD	0,10542496	0,117121537	1,87774E-05	0,260857547		4,78488E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
PDHMD	1,74861E-05	1,87774E-05	0,804559029	1,74861E-05	4,78488E-05		1,74863E-05	1,74976E-05	1,74861E-05	0,00013621	0,000473134	2,96326E-05
PHVC	1,75113E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74863E-05		0,999995609	1,74861E-05	0,628028467	0,437830176	1,74861E-05
PHPC	1,82552E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74976E-05	0,999995609		1,74861E-05	0,922346852	0,80400559	1,74861E-05
PHMC	1,74862E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	0,33252042
PDHVC	0,002207259	1,74863E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	0,00013621	0,628028467	0,922346852	1,74861E-05		0,999999997	1,74861E-05
PDHPC	0,006667723	1,74878E-05	1,74861E-05	1,74862E-05	1,74861E-05	0,000473134	0,437830176	0,80400559	1,74861E-05	0,999999997		1,74861E-05
PDHMC	0,00033139	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	2,96326E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	0,33252042	1,74861E-05	1,74861E-05	

Diferencias significativas cuando p < 0,05

ANEXO 8. Tratamiento estadístico para la temperatura de cocción en función de la forma y la variedad

Tukey HSD test; Variable: T (platdv.sta)				
Marked differences are significant at p < .05000				
Codigo	HD	HC	DD	DC
T°C	M=84.843	M=90.407	M=85.697	M=89.355
HD		7,67332E-06	0,03534963	7,67332E-06
HC	7,67332E-06		7,67332E-06	0,003676251
DD	0,03534963	7,67332E-06		7,67332E-06
DC	7,67332E-06	0,003676251	7,67332E-06	

Diferencias significativas cuando p < 0,05

ANEXO 9. Tratamiento estadístico para la temperatura de cocción en función del estado de madurez.

Tukey HSD test; Variable: T (platdv.sta)						
Marked differences are significant at p < .05000						
Codigo	HV	HP	HM	DV	DP	DM
T°C	M=87.267	M=85.910	M=81.626	M=85.739	M=84.901	M=86.951
HV		0,999999963	0,03534963	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
HP	0,999999963		7,67332E-06	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
HM	0,03534963	1,74861E-05		1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05
DV	7,67332E-06	1,74861E-05	1,74861E-05		0,260857547	1,74861E-05
DP	0,003676251	1,74861E-05	1,74861E-05	0,804559029		1,74861E-05
DM	7,67332E-06	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	1,74861E-05	

Diferencias significativas cuando p < 0,05

ANEXO 10

Transferencia de calor

Calculo del coeficiente de transmisión de calor h, para cilindros en sus dos estados de madurez

PROPIEDADES	HARTON CILINDROS			DOMINICO HARTON CILINDROS		
	HC	VERDE	MADURO	DC	VERDE	MADURO
Gr	$7,0934 \cdot 10^7$	$7,1051 \cdot 10^7$	$6,7832 \cdot 10^7$	$6,5334 \cdot 10^7$	$6,3621 \cdot 10^7$	$7,1051 \cdot 10^7$
Ra	$2,268 \cdot 10^8$	$2,2722 \cdot 10^8$	$2,1692 \cdot 10^8$	$2,089 \cdot 10^8$	$2,0345 \cdot 10^8$	$2,2722 \cdot 10^8$
N	84,3825	84,432	83,2255	82,2589	81,5875	84,432
h (W/m ² °C)	1502,71	1502,76	1504,35	1505,9	1506,58	1502,76

ANEXO 11.

Transferencia de calor

Calculo del coeficiente de transmision de calor h, para discos en sus dos estados de madurez

PROPIEDADES	HARTON DISCOS			DOMINICO HARTON DISCOS		
	HD	VERDE	MADURO	DD	VERDE	MADURO
Gr	$4,5901 \cdot 10^7$	$6,8060 \cdot 10^7$	$3,5504 \cdot 10^7$	$4,474 \cdot 10^7$	$3,8713 \cdot 10^7$	$5,4008 \cdot 10^7$
Ra	$1,467 \cdot 10^8$	$2,1765 \cdot 10^8$	$1,135 \cdot 10^8$	$1,4307 \cdot 10^8$	$1,2380 \cdot 10^8$	$1,729 \cdot 10^8$
N	78,6162	89,6538	72,178	77,963	74,2963	83,038
h (W/m ² °C)	1618,53	1618,74	1618,89	1618,93	1619,03	1618,67

Propiedades	HARTON DISCOS			DOMINICO HARTON DISCOS		
	HD	VERDE	MADURO	DD	VERDE	MADURO
T(°C)	84,842593	87,267143	81,626316	85,697143	85,738571	86,951429
ΔY	0,0994084	0,0657341	0,1440789	0,0875397	0,0869643	0,070119
Ro^2(m)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Tiempo (s)	1238,0556	1272,8571	1173,9474	1272,8571	1272,8571	1272,8571
Densidad(Kg/m3)	1141,8345	928,37417	1642,8518	1032,5522	1016,1564	1050,649
Cp (J/Kg°C)	3073,094	3054,821	3091,367	3279,852	3060	3499,704
Constantes						
Fo = Ec 6						
A1	λ1					
1,262	1,4289	1,244623	1,447203	1,062855	1,306895	1,310125
1,26595	1,43226	1,240313	1,441944	1,059398	1,302294	1,305509
1,2699	1,4961	1,138113	1,322903	0,972308	1,194917	1,197863
1,2708	1,50815	1,120310	1,302159	0,957144	1,176210	1,179109
1,2717	1,5202	1,102926	1,281904	0,942337	1,157943	1,160797
1,272	1,52635	1,094158	1,271696	0,934859	1,148732	1,151563
1,2723	1,5325	1,085494	1,261610	0,927477	1,139631	1,142439
1,27265	1,53625	1,08031	1,255575	0,923066	1,134191	1,136985
1,2727	1,54	1,075079	1,249484	0,918592	1,128691	1,131471
1,27275	1,5415	1,073004	1,247070	0,916822	1,12651	1,129287
1,27278	1,543	1,070929	1,244657	0,915050	1,124332	1,127102
1,27282	1,5442	1,06927	1,242736	0,913642	1,122599	1,125364
1,27286	1,5454	1,067632	1,240820	0,912237	1,120869	1,123630
1,2729	1,54692	1,065548	1,238396	0,910458	1,118681	1,121437
1,27294	1,54844	1,063470	1,235979	0,908684	1,11649	1,119249
1,27298	1,54996	1,061398	1,233569	0,906916	1,114323	1,117068
1,27302	1,55148	1,059333	1,231166	0,905153	1,112154	1,114893
1,27306	1,553	1,057273	1,228770	0,903395	1,109991	1,112725
1,2731	1,5552	1,054297	1,225309	0,900854	1,106865	1,109592

Propiedades	HARTON DISCOS			DOMINICO HARTON DISCOS		
	HD	VERDE	MADURO	DD	VERDE	MADURO
K (W/m°C)						
$K = \left[\frac{FoLc^2}{t} * \rho * Cp \right]$	0,352757	0,322447	0,459806	0,347718	0,320048	0,408923
	0,351536	0,321275	0,458310	0,34649	0,318920	0,407447
	0,322570	0,294752	0,420633	0,317924	0,292623	0,37381
	0,317524	0,290130	0,414073	0,312947	0,288042	0,367959
	0,312597	0,285617	0,40766	0,308087	0,28356	0,362237
	0,310112	0,283343	0,404433	0,305636	0,281313	0,359353
	0,307656	0,281095	0,401237	0,303215	0,279084	0,356504
	0,306189	0,279751	0,399331	0,301767	0,277752	0,354799
	0,30470	0,278394	0,397395	0,300304	0,276405	0,353078
	0,304116	0,277856	0,39663	0,299724	0,275871	0,352396
	0,303528	0,277318	0,395863	0,299144	0,275337	0,351714
	0,303060	0,276890	0,395254	0,298683	0,274913	0,351171
	0,302594	0,276463	0,394646	0,298223	0,274489	0,350630
	0,302003	0,275923	0,393876	0,297641	0,273953	0,349945
	0,301414	0,275385	0,393109	0,297060	0,273419	0,349262
	0,300827	0,274848	0,392344	0,296481	0,272886	0,348581
	0,30024	0,274312	0,391581	0,295904	0,272355	0,347902
	0,299658	0,273778	0,390821	0,29532	0,271825	0,34722
	0,298814	0,273007	0,38972	0,294497	0,271060	0,346248

Propiedad	HARTON DISCOS			DOMINICO HARTON DISCOS		
	HD	VERDE	MADURO	DD	VERDE	MADURO
h (w/m°C)	1618,53	1618,74	1618,89	1618,93	1619,03	1618,67
Lc=L/2 (m)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

* h es el coeficiente de transmision de calor por conveccion del fluido (agua) y contempla la forma del producto Lc

Transferencia de calor en el plátano
 Calculo de valor de k (w/m°C) por Fo para cilindros

Propiedades	HARTON CILINDROS			DOMINICO HARTON CILINDROS		
	HC	VERDE	MADURO	DC	VERDE	MADURO
T(°C)	90,407111	90,353333	90,774667	89,355357	89,326667	89,542667
ΔY	0,0221235	0,0228704	0,0170185	0,0367312	0,0371296	0,0341296
Ro^2(m)	0,0003242	0,0003334	0,0003233	0,0003153	0,0002809	0,0003334
Tiempo (s)	2100	2100	2100	2095,9821	2100	2100
Densidad(Kg/m3)	825,46314	848,40533	866,93224	829,00854	824,37351	855,39835
Cp (J/Kg°C)	3073,094	3054,821	3091,367	3279,852	3060	3499,704
Costantes	Fo = Ec 7					
λ1	A1					
2,1795	1,5677	0,8969534	0,8899635	0,9521796	0,7902243	0,7879528
2,23375	1,5798	0,8554557	0,8488011	0,9080319	0,7538478	0,7516853
2,288	1,5919	0,8168273	0,8104846	0,8669398	0,7199806	0,7179195
2,30705	1,5946	0,8037118	0,7974734	0,8530002	0,7084579	0,7064307
2,3261	1,5973	0,7909141	0,7847775	0,8393985	0,697214	0,6952198
2,3358	1,5983	0,7844735	0,7783877	0,832556	0,6915501	0,6895724
2,3455	1,5993	0,7781121	0,7720766	0,8257978	0,6859557	0,6839943
2,35135	1,59975	0,774296	0,7682905	0,8217447	0,6825976	0,680646
2,3572	1,6002	0,7705082	0,7645324	0,8177216	0,6792643	0,6773224
2,35957	1,60044	0,7689903	0,7630265	0,816109	0,6779296	0,6759916
2,36194	1,60046	0,7674479	0,7614961	0,814472	0,6765698	0,6746357
2,36431	1,60058	0,7659246	0,7599847	0,8128545	0,6752287	0,6732984
2,36668	1,60072	0,7644059	0,7584779	0,8112418	0,6738915	0,6719651
2,36905	1,60086	0,7628917	0,7569755	0,809634	0,6725583	0,6706358
2,37142	1,60098	0,761382	0,7554777	0,8080309	0,6712291	0,6693104
2,37379	1,60111	0,7598768	0,7539843	0,8064326	0,6699039	0,667989
2,37616	1,60124	0,7583762	0,7524954	0,8048391	0,6685826	0,6666715
2,37853	1,60137	0,7568799	0,7510109	0,8032504	0,6672652	0,665358
2,3809	1,6015	0,7553882	0,7495308	0,8016664	0,6659518	0,6640483

Propiedades	HARTON CILINDROS			DOMINICO HARTON CILINDROS		
	HC	VERDE	MADURO	DC	VERDE	MADURO
$K = \left[\frac{FoLc^2}{t} * \rho * Cp \right]$	K (W/m°C)					
	0,3512235	0,3662213	0,3928391	0,3232216	0,2658731	0,3829563
	0,3349741	0,3492829	0,3746251	0,3083427	0,2536356	0,3653133
	0,3198482	0,3335156	0,3576718	0,2944902	0,2422423	0,3488878
	0,3147125	0,3281615	0,3519208	0,2897771	0,2383657	0,3433012
	0,3097013	0,3229371	0,3463092	0,2851781	0,2345829	0,3378498
	0,3071793	0,3203077	0,3434862	0,2828614	0,2326773	0,3351041
	0,3046884	0,3177107	0,3406979	0,2805731	0,2307952	0,3323922
	0,3031941	0,3161527	0,3390258	0,2791996	0,2296653	0,3307645
	0,3017109	0,3146062	0,337366	0,2778362	0,2285439	0,3291488
	0,3011165	0,3139866	0,3367006	0,2772903	0,2280949	0,3285018
	0,3005125	0,3133568	0,3360253	0,2767341	0,2276373	0,3278429
	0,299916	0,3127348	0,335358	0,2761855	0,2271861	0,3271929
	0,2993213	0,3121148	0,3346926	0,2756386	0,2267362	0,3265448
	0,2987284	0,3114966	0,3340293	0,2750933	0,2262877	0,3258987
	0,2981373	0,3108802	0,3333679	0,2745496	0,2258405	0,3252545
	0,2975479	0,3102657	0,3327085	0,2740075	0,2253946	0,3246122
	0,2969603	0,309653	0,3320511	0,2734671	0,22495	0,3239718
	0,2963744	0,3090421	0,3313956	0,2729283	0,2245068	0,3233333
	0,2957903	0,308433	0,3307421	0,272391	0,2240649	0,3226967

Propiedades	HARTON CILINDROS			DOMINICO HARTON CILINDROS		
	HC	VERDE	MADURO	DC	VERDE	MADURO
h* (W/m°C)	1502,71	1502,76	1504,35	1505,9	1506,58	1502,76
Lc=RADIO (m)	0,0180044	0,01826	0,01798	0,0177567	0,01676	0,01826

* h es el coeficiente de transmision de calor por conveccion del fluido (agua)
 y contempla la forma del producto Lc

ANEXO 14. Compilado de los valores de k para dos estados de madurez y dos formas.

Bi	Constantes		HARTON CILINDROS			DOMINICO HARTON CILINDROS		
			HC	VERDE	MADURO	DC	VERDE	MADURO
	λ_1	A1	k (W/m°C)					
10	2,1795	1,5677	0,3512235	0,3662213	0,3928391	0,3232216	0,2658731	0,3829563
15	2,23375	1,5798	0,3349741	0,3492829	0,3746251	0,3083427	0,2536356	0,3653133
20	2,288	1,5919	0,3198482	0,3335156	0,3576718	0,2944902	0,2422423	0,3488878
25	2,30705	1,5946	0,3147125	0,3281615	0,3519208	0,2897771	0,2383657	0,3433012
30	2,3261	1,5973	0,3097013	0,3229371	0,3463092	0,2851781	0,2345829	0,3378498
35	2,3358	1,5983	0,3071793	0,3203077	0,3434862	0,2828614	0,2326773	0,3351041
40	2,3455	1,5993	0,3046884	0,3177107	0,3406979	0,2805731	0,2307952	0,3323922
45	2,35135	1,59975	0,3031941	0,3161527	0,3390258	0,2791996	0,2296653	0,3307645
50	2,3572	1,6002	0,3017109	0,3146062	0,337366	0,2778362	0,2285439	0,3291488
55	2,35957	1,60046	0,3011165	0,3139866	0,3367006	0,2772903	0,2280949	0,3285018
60	2,36194	1,60046	0,3005125	0,3133568	0,3360253	0,2767341	0,2276373	0,3278429
65	2,36431	1,60059	0,299916	0,3127348	0,335358	0,2761855	0,2271861	0,3271929
70	2,36668	1,60072	0,2993213	0,3121148	0,3346926	0,2756386	0,2267362	0,3265448
75	2,36905	1,60085	0,2987284	0,3114966	0,3340293	0,2750933	0,2262877	0,3258987
80	2,37142	1,60098	0,2981373	0,3108802	0,3333679	0,2745496	0,2258405	0,3252545
85	2,37379	1,60111	0,2975475	0,3102657	0,3327085	0,2740075	0,2253946	0,3246122
90	2,37616	1,60124	0,2969603	0,309653	0,3320511	0,2734671	0,22495	0,3239718
95	2,37853	1,60137	0,2963744	0,3090421	0,3313956	0,2729283	0,2245068	0,3233333
100	2,3809	1,6015	0,2957903	0,308433	0,3307421	0,272391	0,2240649	0,3226967

Bi	Constantes		HARTON DISCOS			DOMINICO HARTON DISCOS		
			HD	VERDE	MADURO	DD	VERDE	MADURO
	A1	λ_1	k (Wm°C)					
10	1,262	1,4289	0,352757	0,322447	0,459806	0,347718	0,320048	0,408923
15	1,26595	1,43226	0,351536	0,321275	0,458310	0,34649	0,318920	0,407447
20	1,2699	1,4961	0,322570	0,294752	0,420633	0,317924	0,292623	0,373819
25	1,2708	1,50815	0,317524	0,290130	0,414073	0,312947	0,288042	0,367959
30	1,2717	1,5202	0,312597	0,285617	0,40766	0,308087	0,28356	0,362237
35	1,272	1,52635	0,310112	0,283343	0,404433	0,305636	0,281313	0,359353
40	1,2723	1,5325	0,307656	0,281095	0,401237	0,303215	0,279084	0,356504
45	1,27265	1,53625	0,306189	0,279751	0,399331	0,301767	0,277752	0,354799
50	1,2727	1,54	0,30470	0,278394	0,397395	0,300304	0,276405	0,353078
55	1,27275	1,5415	0,304116	0,277856	0,39663	0,299724	0,275871	0,352396
60	1,27278	1,543	0,303528	0,277318	0,395863	0,299144	0,275337	0,351714
65	1,27282	1,5442	0,303060	0,276890	0,395254	0,298683	0,274913	0,351171
70	1,27286	1,5454	0,302594	0,276463	0,394646	0,298223	0,274489	0,350630
75	1,2729	1,54692	0,302003	0,275923	0,393876	0,297641	0,273953	0,349945
80	1,27294	1,54844	0,301414	0,275385	0,393109	0,297060	0,273419	0,349262
85	1,27298	1,54996	0,300827	0,274848	0,392344	0,296481	0,272886	0,348581
90	1,27302	1,55148	0,30024	0,274312	0,391581	0,295904	0,272355	0,347902
95	1,27306	1,553	0,299658	0,273778	0,390821	0,29532	0,271825	0,347226
100	1,2731	1,5552	0,299814	0,273007	0,38972	0,294497	0,271060	0,346248

ANEXO 15. Tratamiento estadístico para el coeficiente de conductividad termica k en funcion de la forma.

a.

Tukey HSD test; Variable: k (final.sta)												
Marked differences are significant at p < .050												
	PHD	PHVD	PHMD	PDHD	PDHVD	PDHMD	PHC	PHVC	PHMC	PDHC	PDHVC	PDHMC
k (w/m°C)	0.44258	0.44264	0.44268	0.44269	0.44272	0.44262	0.43982	0.45035	0.43962	0.43119	0.49046	0.45035
PHD		1	1	1	1	1	0,656721	0,585417	0,658037	0,712688	0,912446	0,585417
PHVD	1		1	1	1	1	0,657103	0,585811	0,658419	0,713049	0,912635	0,585811
PHMD	1	1		1	1	1	0,657375	0,586092	0,658691	0,713307	0,912769	0,586092
PDHD	1	1	1		1	1	0,657448	0,586167	0,658763	0,713376	0,912805	0,586167
PDHVD	1	1	1	1		1	0,65763	0,586355	0,658945	0,713548	0,912894	0,586355
PDHMD	1	1	1	1	1		0,656976	0,58568	0,658292	0,712929	0,912572	0,58568
PHC	0,656721	0,657103	0,657375	0,657448	0,65763	0,656976		1	1	1	1	1
PHVC	0,585417	0,585811	0,586092	0,586167	0,586355	0,58568	1		1	1	1	1
PHMC	0,658037	0,658419	0,658691	0,658763	0,658945	0,658292	1	1		1	1	1
PDHC	0,712688	0,713049	0,713307	0,713376	0,713548	0,712929	1	1	1		1	1
PDHVC	0,912446	0,912635	0,912769	0,912805	0,912894	0,912572	1	1	1	1		1
PDHMC	0,585417	0,585811	0,586092	0,586167	0,586355	0,58568	1	1	1	1	1	

Diferencias significativas cuando p < 0,05

b.Consolidado e Interpretacion de los da

Tukey HSD test; Variable:k (final.sta)												
Marked differences are significant at p < .050												
	PHD	PHVD	PHMD	PDHD	PDHVD	PDHMD	PHC	PHVC	PHMC	PDHC	PDHVC	PDHMC
k (w/m°C)	0.44258	0.44264	0.44268	0.44269	0.44272	0.44262	0.43982	0.45035	0.43962	0.43119	0.49046	0.45035
PHD		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PHVD	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PHMD	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A
PDHD	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A
PDHVD	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A
PDHMD	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A
PHC	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A
PHVC	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A
PHMC	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A
PDHC	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A
PDHVC	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A
PDHMC	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

(A) no hay diferencias cuándo el p valor es p > 0.05

(B) Hay diferencias cuándo el p valor es p < 0.05

Anexo 16. Tratamiento estadístico para el coeficiente de conductividad termica k obtenido por Fo, en funcion del estado de madurez y la variedad.

a.

Tukey HSD test; Variable: k Fo final.sta)						
Marked differences are significant at p < .05000						
	PH	PHV	PHM	PDH	PDHV	PDHM
k (w/m°C)	0.31063	0.28382	0.40509	0.30615	0.28178	0.35996
PH		0,00015735	0,00011994	0,96254188	0,00012676	0,00011994
PHV	0,00015735		0,00011994	0,00118181	0,99906351	0,00011994
PHM	0,00011994	0,00011994		0,00011994	0,00011994	0,00011994
PDH	0,96254188	0,00118181	0,00011994		0,00038017	0,00011994
PDHV	0,00012676	0,99906351	0,00011994	0,00038017		0,00011994
PDHM	0,00011994	0,00011994	0,00011994	0,00011994	0,00011994	

Diferencias significativas cuando p < 0,05

b. Consolidado e Interpretacion de los datos

Tukey HSD test; Variable: k Fo (final.sta)						
Marked differences are significant at p < .05000						
	PH	PHV	PHM	PDH	PDHV	PDHM
k (w/m°C)	0.31063	0.28382	0.40509	0.30615	0.28178	0.35996
PH		B	B	A	B	B
PHV	B		B	B	A	B
PHM	B	B		B	B	B
PDH	A	B	B		B	B
PDHV	B	A	B	B		B
PDHM	B	B	B	B	A	

(A) no hay diferencias cuándo el p valor es p > 0.05 (B) Hay diferencias cuándo el p valor es p < 0.05

Anexo 17. Determinación de Biot a partir de una constante k

Propiedades	HARTON DISCOS			DOMINICO HARTON DISCOS		
	HD	VERDE	MADURO	DHD	VERDE	MADURO
h (w/m°C)	1618,53	1618,74	1618,89	1618,93	1619,03	1618,67
Lc=L/2 (m)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
k(W/m2°C)	0,31063	0,28382	0,40509	0,30615	0,28178	0,35996
Biot	52,1500838	57,0340357	39,9637118	52,8802874	57,4572361	44,968052
A1	1,27272	1,27276	1,27220	1,27272	1,27276	1,27260
λ1	1,5406	1,5421	1,5324	1,5408	1,5422	1,5362

Anexo 18. Determinación de Biot a partir de una constante k

Propiedades	HARTON CILINDROS			DOMINICO HARTON CILINDROS		
	HC	VERDE	MADURO	DHC	VERDE	MADURO
h (W/m°C)	1502,71	1502,76	1504,35	1505,9	1502,76	1502,76
Lc=RADIO (m)	0,0180044	0,01826	0,01798	0,0177567	0,01826	0,01826
k(W/m2°C)	0,31063	0,28382	0,40509	0,30615	0,309653	0,35996
Biot	87,1742232	96,6823959	66,7708731	87,3422	88,616605	76,2317969
A1	1,60054	1,60141	1,60063	1,60639	1,60134	1,60088
λ1	2,37379	2,37846	2,3651	2,3750	2,37597	2,3693